

10 Anhang

10.1 Tabellen

10.1.1 Charakterisierung Ausgangsstoffe

Tabelle A 1 Rohdichte und Wasseraufnahme der Gesteinskörnungen, Bestimmung gemäß Pyknometer-Verfahren nach DIN EN 1097-6

Gesteinskörnung	M ₂	M ₃	M ₁	M ₄	ρ _a	ρ _{rd}	ρ _{ssd}	WA ₂₄
	[g]	[g]	[g]	[g]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	%
Sauerländer Grauwacke-Splitt	2300,8	1987,4	496,9	494,2	2,73	2,69	2,71	0,5
Kies-Edelsplitt vom Oberrhein	2325,7	2000,4	520,4	517,4	2,69	2,65	2,67	0,6
Quarzporphyr-Splitt	2328,4	1998,7	529,7	527,1	2,67	2,64	2,65	0,5

M ₁	Masse der wassergesättigten und oberflächentrockenen Gesteinskörnung in Luft, in Gramm
M ₂	Masse des Pyknometers mit der Probe der gesättigten Gesteinskörnung (24 ± 0,5) h, in Gramm
M ₃	Masse des nur mit Wasser (22 ± 3) °C gefüllten Pyknometers, in Gramm
M ₄	Masse der ofengetrockneten Messprobe in Luft, in Gramm
ρ _a	Scheinbare Rohdichte, in Megagramm je Kubikmeter $M_4/(M_4-(M_2-M_3))$
ρ _{rd}	Rohdichte auf ofentrockener Basis, in Megagramm je Kubikmeter $M_1/(M_1-(M_2-M_3))$
ρ _{ssd}	Rohdichte auf wassergesättigter und oberflächentrockener Basis, in Megagramm je Kubikmeter
WA ₂₄	Wasseraufnahme nach Eintauchen für 24h, in Prozent

Tabelle A 2 Chemische Zusammensetzung der Zemente, Ergebnisse Z0 [Datenblatt Prüfzement] und Z1 [Müller et al. 2010] vom FIZ

		Zement Z0	Zement Z1	Zement Z2	Zement Z3
		CEM I 32,5R	CEM I 42,5R	CEM I 32,5R	CEM I 42,5 N (sd)
Chemische Zusammensetzung glühverlusthaltig [M.-%]	Silizium(IV)-oxid	18,97	19,4	20,73	20,8
	Aluminiumoxid	5,36	5,46	4,59	4,22
	Titandioxid	0,27	0,24	0,36	0,29
	Eisen(III)-oxid	3,87	3,41	3,29	3,95
	Magnesiumoxid	1,80	1,66	1,54	1,60
	Calciumoxid	61,80	62,1	61,39	61,65
	Sulfat als SO ₃	2,92	3,75	2,49	3,00
	Kaliumoxid	1,55	1,44	0,41	0,79
	Natriumoxid	0,18	0,23	0,14	0,21
	Natriumäquivalent	1,20	1,18	0,41	0,73
Glühverlust [M.-%]	Glühverlust gesamt	2,11	1,95	2,14	2,16
Klinkerphasen (glühverlustfrei; berechnet nach Bogue) [M.-%]	C ₃ S	-	58,68	50,5	51,3
	C ₂ S	-	12,56	22,7	22,3
	C ₃ A	-	8,86	6,7	4,6
	C ₄ AF	-	10,58	10,3	12,3

Tabelle A 3 Normeigenschaften der verwendeten Portlandzemente, Ergebnisse Z0 [Datenblatt Prüfzement] und Z1 [Müller et al. 2010] vom FIZ

		Zement Z0	Zement Z1	Zement Z2	Zement Z3	Prüfung nach
		CEM I 32,5 R	CEM I 42,5 R	CEM I 32,5 R	CEM I 42,5N (sd)	
Reindichte	g/cm ³	3,12	3,14	3,14	3,13	DIN EN 196-6
Spezifische Oberfläche nach Blaine	cm ² /g	3125	4330	3155	3280	DIN EN 196-6
Wasseranspruch	M.-%	28,5	30,5	n.b.	26,2	DIN EN 196-3
Erstarren Beginn	min	295	220	n.b.	148	DIN EN 196-3
Erstarren Ende	min	330	n.b.	n.b.	n.b.	DIN EN 196-3
Normsteifemaß	Mm	7,0	5,0	n.b.	n.b.	
Druckfestigkeit 2d	MPa	24,2	40,7	19,7	28,0	DIN EN 196-1
Druckfestigkeit 7d	MPa	41,1	52,8	43,8	38,8	DIN EN 196-1
Druckfestigkeit 28d	MPa	49,1	60,6	53,3	54,3	DIN EN 196-1

10.1.2 Hohes internes Schädigungspotenzial**Tabelle A 4 Frischbetonkennwerte hohes int. Schädigungspotenzial [Müller et al. 2010]**

Bezeichnung Beton	Rohdichte	Luftgehalt	Ausbreitmaß	Verdichtungsmaß
-	[kg/m ³]	[Vol.-%]	[mm]	[-]
GW-Z1-0,35 I	2490	1,2	-	1,64
GW-Z1-0,35 II	2500	1,0	-	1,63
GW-Z1-0,35 W	2480	1,2	-	1,61
GW-Z1-0,35 W2 I	2480	1,5	-	1,65
GW-Z1-0,35 W2 II	2490	1,5	-	1,65
GW-Z1-0,45 I	2440	0,6	-	1,25
GW-Z1-0,45 II	2450	0,5	-	1,33
GW-Z1-0,45 W	2430	0,7	-	1,35
GW-Z1-0,55 I	2370	0,4	470	-
GW-Z1-0,55 II	2380	0,4	465	-
GW-Z1-0,55-W	2380	0,6	430	-
GW-Z1-0,45-LP I	2340	4,2	-	1,25
GW-Z1-0,45-LP II	2340	4,2	-	1,25
OR-Z1-0,35 I	2460	1,3	-	1,63
OR-Z1-0,35 II	2470	1,3	-	1,61
OR-Z1-0,45 I	2410	0,9	340	1,20
OR-Z1-0,45 II	2410	1,0	340	1,23
QP-Z1-0,35 I	2430	1,6	-	1,57
QP-Z1-0,35 II	2430	1,6	-	1,64
QP-Z1-0,45 I	2400	1,1	-	1,27
QP-Z1-0,45 II	2380	1,4	-	1,30
QP-Z1-0,55 I	2330	1,0	470	-
QP-Z1-0,55 II	2330	0,9	515	-

I = erste Herstellung, II = zweite Herstellung, W = Wiederholung der Herstellung

Tabelle A 5 Rohdichte der Probekörper gemäß [Alkali-Richtlinie 2007] für ein hohes internes Schädigungspotenzial im Alter von 2 Tagen nach Ausschalen und Versand

Bezeichnung Beton	Festbetonrohddichte [g/cm³]		
	Zylinder	Balken	Würfel
	Ø 70 L 280 [mm]	75 x 75 x 280 [mm]	300 x 300 x 300 [mm]
GW-Z1-0,35	2,48	2,30	2,47
GW-Z1-0,35-W	2,45	2,45	2,46
GW-Z1-0,35-W2 I	2,47	-	-
GW-Z1-0,35-W2 II	2,46	-	-
GW-Z1-0,45	2,44	2,41	2,42
GW-Z1-0,45-W	2,44	2,40	2,41
GW-Z1-0,55	2,39	2,35	2,37
GW-Z1-0,55-W	2,38	2,36	2,36
GW-Z1-0,45-LP	2,36	2,35	2,34
OR-Z1-0,35	2,48	2,47	2,45
OR-Z1-0,45	2,42	2,41	2,39
QP-Z1-0,35	2,45	2,44	2,43
QP-Z1-0,45	2,39	2,37	2,35
QP-Z1-0,55	2,32	2,31	2,31

Tabelle A 6 Rel. Porositäten von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm im Alter von 28 Tagen bei 20 °C über Wasser; ermittelt mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie

Relative Porositäten in Abhängigkeit von Porenradienverteilung [Vol.-%]					
Porenart	Gelporosität	Kapillarporosität			Gesamtporosität
Porenradius	2 - 10 nm	10 - 100 nm	100 nm - 1 µm	1 - 50 µm	2 nm - 50 µm
GW-Z1-0,35-W	1,5	4,4	0,9	0,9	7,7
GW-Z1-0,35-W2	1,8	4,7	0,8	1,1	8,5
GW-Z1-0,45-W	2,3	5,9	0,8	0,7	9,7
GW-Z1-0,45-LP	2,4	4,9	1,8	1,2	10,2
GW-Z1-0,55-W	2,6	8,6	1,2	1,0	13,3
OR-Z1-0,45	2,7	5,0	0,8	0,9	9,4
QP-Z1-0,45	2,2	4,4	0,9	0,9	8,4
QP-Z1-0,55	2,8	7,7	1,3	1,2	12,9

Tabelle A 7 Rel. Porositäten von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm im Alter von 140 Tagen bei 20 °C über Wasser; ermittelt mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie

Relative Porositäten in Abhängigkeit von Porenradienverteilung [Vol.-%]					
Porenart	Gelporosität	Kapillarporosität			Gesamtporosität
Porenradius	2 - 10 nm	10 - 100 nm	100 nm - 1 µm	1 - 50 µm	2 nm - 50 µm
GW-Z1-0,35-W	2,2	4,0	0,9	0,4	7,5
GW-Z1-0,35-W2	1,2	4,3	0,6	0,3	6,3
GW-Z1-0,45-W	1,7	4,6	1,0	0,7	8,0
GW-Z1-0,55-W	3,3	5,6	1,0	0,4	10,2

Tabelle A 8 Anzahl und Ort der Risse basierend auf quantitativen Auswertung der CT-Datensätze mittels automatischem Risserkennungssystem und „Region Statistics“-Tool der Zylindern (Ø 70 mm, L 280 mm) aus 300 mm³-Betonwürfeln mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

Anzahl der Risse (basierend auf Auswertetool "Region Statistics")				
Serie		GW-Z1-0,35-W	GW-Z1-0,45-W	GW-Z1-0,55-W
CT-File		5524	5521	5469
Rissort	Korn	5.761	9.689	7.136
	ITZ	48	86	1.578
	Zementsteinmatrix	7.915	16.655	16.609
	undefiniert	262	728	5.907
Risse gesamt		13.986	27.158	31.230

Tabelle A 9 Volumen der Risse basierend auf quantitativen Auswertung der CT-Datensätze mittels automatischem Risserkennungssystem und „Region Statistics“-Tool der Zylindern (Ø 70 mm, L 280 mm) aus 300 mm³-Betonwürfeln mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

Volumen der Risse [voxel-Einheiten] (basierend auf Auswertetool "Region Statistics")				
Serie		GW-Z1-0,35-W	GW-Z1-0,45-W	GW-Z1-0,55-W
CT-File		5524	5521	5469
Rissort	Korn	173,3	987,8	642,4
	ITZ	0,2	0,3	16,3
	Zementsteinmatrix	316,4	271,8	360,5
	undefiniert	0,1	0,4	1,3
Risse gesamt		13.986	490,0	1.260,3

Tabelle A 10 Mittelwerte verschiedener Rissparameter basierend auf quantitativen Auswertung der CT-Datensätze mittels automatischem Risserkennungssystem und „TMSingleSpreadSheet“-Tool der Zylindern (Ø 70 mm, L 280 mm) aus 300 mm³-Betonwürfeln mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

Rissparameter (basierend auf Auswertetool "TMSingleSpreadSheet")				
Serie		GW-Z1-0,35-W	GW-Z1-0,45-W	GW-Z1-0,55-W
CT-File		5524	5521	5469
Mittleres Volumen		0,19	0,37	0,38
Mittlere Anisotropie		0,95	0,99	0,99
Mittlere Ausdehnung		0,33	0,34	0,34
Mittlere Flachheit		0,15	0,03	0,03
Mittlere Riss-orientierung	x	-0,99	-1,00	-1,00
	y	0,10	0,01	-0,01
	z	0,14	-0,08	0,04
	sphärische Varianz	0,50	0,48	0,46

Tabelle A 11: Relative Porosität und Dehnung von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm im Alter von 140 Tagen nach 60 °C-Betonversuch; ermittelt mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie

Bezeichnung Beton	Rel. Porositäten in Abhängigkeit von Porenradienverteilung [Vol.-%]					Dehnung
	Gelporosität	Kapillarporosität			Gesamtporosität	
	2 - 10 nm	10 - 100 nm	100 nm - 1 µm	1 - 50 µm	2 nm - 50 µm	
GW-Z1-0,35-W2	3,4	1,4	0,3	0,2	5,3	2,48
GW-Z1-0,45-W	3,3	4,3	0,7	0,2	8,5	2,22
GW-Z1-0,55-W	3,4	5,6	0,7	0,3	9,9	0,84

Tabelle A 12: Gesamtporosität gemäß DIN 66137-1 von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm im Alter von 336 Tagen bei 20 °C über Wasser

Bezeichnung Beton		Rohdichte	Reindichte	Gesamtporosität
		g/cm ³	g/cm ³	Vol.-%
GW-Z1-0,35-W	oben	2,38	2,63	9,53
	unten	2,43	2,60	6,45
	\bar{x}	2,40	2,61	7,99
GW-Z1-0,45-W	oben	2,35	2,63	10,7
	unten	2,35	2,61	10,0
	\bar{x}	2,35	2,62	10,3
GW-Z1-0,45-LP		2,29	2,64	13,4
GW-Z1-0,55-W	oben	2,25	2,61	13,6
	unten	2,27	2,60	12,8
	\bar{x}	2,26	2,61	13,2

\bar{x} Mittelwert

Tabelle A 13 Rel. Porositäten von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm im Alter von 336 Tagen bei 20 °C über Wasser; ermittelt mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie

Bezeichnung Beton		Relative Porositäten in Abhängigkeit von Porenradienverteilung [Vol.-%]				
		Gelporosität	Kapillarporosität			Gesamtporosität
		3 - 10 nm	10 - 100 nm	100 nm - 1 µm	1 - 75 µm	3 nm - 75 µm
GW-Z1-0,35-W2	oben	0,7	2,2	0,5	0,4	3,8
	unten	0,7	2,2	0,5	0,6	4,0
	\bar{x}	0,7	2,2	0,5	0,5	3,9
GW-Z1-0,45-W	oben	0,7	5,6	0,8	0,6	7,7
	unten	0,9	4,1	0,9	0,5	6,4
	\bar{x}	0,8	4,8	0,9	0,6	7,1
GW-Z1-0,45-LP		1,0	5,5	2,4	1,1	10,0
GW-Z1-0,55-W	oben	1,3	7,2	1,5	1,0	11,0
	unten	1,5	7,6	1,3	0,7	11,1
	\bar{x}	1,4	7,4	1,4	0,9	11,0

\bar{x} Mittelwert

Tabelle A 14: Relative Porosität und Dehnung von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm im Alter von 336 Tagen nach kontinuierlicher 40 °C-Nebelkammerlagerung; ermittelt am Granulat 4/8 mm mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie

Bezeichnung Beton		Rel. Porositäten in Abhängigkeit von Porenradienverteilung [Vol.-%]					Dehnung
		Gel- porosität	Kapillarporosität			Gesamt- porosität	
			3 - 10 nm	10 - 100 nm	100 nm - 1 µm		
GW-Z1- 0,35-W	oben	1,3	1,9	0,5	0,7	4,4	0,72
	unten	1,0	1,6	0,4	0,5	3,5	
	\bar{x}	1,1	1,8	0,4	0,6	3,9	
GW-Z1- 0,45-W	oben	1,8	4,6	0,5	0,8	7,7	0,39
	unten	1,8	5,0	0,5	0,4	7,7	
	\bar{x}	1,8	4,8	0,5	0,6	7,7	
GW-Z1-0,45-LP		0,8	4,8	0,8	0,7	7,2	0,44
GW-Z1- 0,55-W	oben	1,9	7,5	0,8	0,6	10,8	0,37
	unten	2,4	7,5	0,9	0,8	11,6	
	\bar{x}	2,2	7,5	0,8	0,7	11,1	

\bar{x} Mittelwert

Tabelle A 15: Gesamtporosität nach DIN 66137-1 und Rissweite von 300 mm³-Würfeln im Alter von 336 Tagen nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

Bezeichnung Beton		Rohdichte	Reindichte	Gesamtporosität	Rissweite
		g/cm ³	g/cm ³	Vol.-%	mm
GW-Z1-0,35-W	oben	2,34	2,60	10,0	0,20
	Mitte	2,35	2,61	9,6	
	unten	2,36	2,61	9,4	
	\bar{x}	2,35	2,61	9,7	
GW-Z1-0,45-W	oben	2,26	2,59	12,7	1,10
	Mitte	2,27	2,60	12,6	
	unten	2,27	2,59	12,2	
	\bar{x}	2,27	2,59	12,5	
GW-Z1-0,45-LP	oben	2,20	2,61	15,8	0,60
	Mitte	2,21	2,61	15,4	
	unten	2,22	2,61	14,6	
	\bar{x}	2,21	2,61	15,3	
GW-Z1-0,55-W	oben	2,18	2,58	15,4	1,40
	Mitte	2,18	2,58	15,7	
	unten	2,21	2,59	14,8	
	\bar{x}	2,19	2,58	15,3	

\bar{x} Mittelwert

Tabelle A 16: Relative Porosität und Rissweite von 300 mm³-Würfeln im Alter von 336 Tagen nach 40 °C-Nebelkammerlagerung; ermittelt am Granulat 4/8 mm mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie

Bezeichnung Beton		Rel. Porositäten in Abhängigkeit von Porenradienverteilung [Vol.-%]					Rissweite
		Gel- porosität	Kapillarporosität			Gesamt- porosität	
			3 - 10 nm	10 - 100 nm	100 nm - 1 µm		1 - 75 µm
GW-Z1- 0,35-W	oben	0,7	2,0	0,3	0,7	3,9	0,20
	Mitte	1,4	3,3	0,4	0,7	6,0	
	unten	0,9	2,5	0,4	0,8	4,6	
	\bar{x}	1,0	2,6	0,4	0,8	4,7	
GW-Z1- 0,45-W	oben	1,2	3,7	0,7	0,9	6,5	1,10
	Mitte	1,4	4,7	0,8	1,0	8,0	
	unten	1,8	5,2	0,8	0,8	8,6	
	\bar{x}	1,5	4,6	0,8	0,9	7,7	
GW-Z1- 0,45-LP	oben	0,9	4,4	1,8	1,0	8,1	0,60
	Mitte	1,0	5,9	1,8	1,2	10,1	
	unten	1,0	4,6	1,4	1,2	8,2	
	\bar{x}	0,9	5,0	1,7	1,1	8,7	
GW-Z1- 0,55-W	oben	1,3	6,0	1,4	1,3	10,1	1,40
	Mitte	1,3	5,7	0,9	0,9	8,9	
	unten	1,9	8,0	1,3	0,9	12,2	
	\bar{x}	1,5	6,6	1,2	1,0	10,3	

\bar{x} Mittelwert

Tabelle A 17: Relative Porosität und Rissweite von 300 mm³-Würfeln im Alter von 336 Tagen nach 40 °C-Nebelkammerlagerung; ermittelt am Miniaturzylinder (Ø 10 mm, l 15 mm) mittels Quecksilberhochdruckporosimetrie

Bezeichnung Beton		Rel. Porositäten in Abhängigkeit von Porenradienverteilung [Vol.-%]					Rissweite
		Gel- porosität	Kapillarporosität			Gesamt- porosität	
			3 - 10 nm	10 - 100 nm	100 nm - 1 µm		1 - 75 µm
GW-Z1- 0,35-W	oben	1,1	2,5	0,3	0,1	4,1	0,20
	Mitte	1,3	3,3	0,8	0,5	6,0	
	unten	1,3	3,0	0,4	0,2	4,9	
	\bar{x}	1,3	2,9	0,5	0,3	5,0	
GW-Z1- 0,45-W	oben	1,8	5,2	0,7	1,1	8,9	1,10
	Mitte	1,8	5,1	0,8	0,4	8,1	
	unten	2,0	5,4	0,7	0,6	8,7	
	\bar{x}	1,8	5,2	0,7	1,1	8,9	
GW-Z1- 0,55-W	oben	1,7	7,1	1,0	0,2	10,1	1,40
	Mitte	2,0	7,6	0,7	0,5	10,8	
	unten	2,2	7,5	1,0	0,5	11,3	
	\bar{x}	1,7	7,1	1,0	0,2	10,1	

\bar{x} Mittelwert

Tabelle A 18: Spaltzugfestigkeit am Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach verschiedenen Lagerungsarten (Referenzlagerung von 20 °C über Wasser, 40 °C-Nebelkammer, 60 °C-Betonversuch) und Lagerungszeiten sowie am Spaltzugfestigkeit am aus 300 mm³-Betonwürfel gewonnenen Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach 365 Tagen 40 °C-Nebelkammer

		Spaltzugfestigkeit [N/mm ²]					
		Balken					Würfel
		75 x 75 x 280 [mm]					300 x 300 x 300 [mm]
Temperatur	°C	20	20	20	40	60	40
Alter	Tage	28	140	336	336	140	336
GW-Z1-0,35-W		6,9	7,3	7,8	7,3	6,4	6,2
GW-Z1-0,45-W		5,4	5,7	5,9	6,2	4,7	4,0
GW-Z1-0,45-LP		-	-	-	6,5	-	4,7
GW-Z1-0,55-W		4,5	5,2	5,5	5,8	4,2	3,9

Tabelle A 19: relative Spaltzugfestigkeit am Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach verschiedenen Lagerungsarten (20 °C über Wasser, 40 °C-Nebelkammer, 60 °C-Betonversuch) und Lagerungszeiten sowie am Spaltzugfestigkeit am aus 300 mm³-Betonwürfel gewonnenen Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach 365 Tagen 40 °C-Nebelkammer bezogen auf Spaltzugfestigkeit am Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach 20 °C und 28 Tagen

		Relative Spaltzugfestigkeit bezogen auf 20 °C und 28 Tage [%]					
		Balken					Würfel
		75 x 75 x 280 [mm]					300 x 300 x 300 [mm]
Temperatur	°C	20	20	20	40	60	40
Alter	Tage	28	140	336	336	140	336
GW-Z1-0,35-W		100	106	113	106	93	90
GW-Z1-0,45-W		100	106	109	115	87	74
GW-Z1-0,55-W		100	116	122	129	93	86

Tabelle A 20: relative Spaltzugfestigkeit am Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach verschiedenen Lagerungsarten (20 °C über Wasser, 40 °C-Nebelkammer, 60 °C-Betonversuch) und Lagerungszeiten sowie am Spaltzugfestigkeit am aus 300 mm³-Betonwürfel gewonnenen Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach 365 Tagen 40 °C-Nebelkammer bezogen auf Spaltzugfestigkeit am Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm nach 20 °C und entsprechendes Prüfalter

		Relative Spaltzugfestigkeit bezogen auf 20 °C und 28 Tage [%]			
		Balken			Würfel
		75 x 75 x 280 [mm]			300 x 300 x 300 [mm]
Temperatur	°C	20	40	60	40
Alter	Tage	28	336	140	336
GW-Z1-0,35-W		100	94	88	79
GW-Z1-0,45-W		100	105	82	68
GW-Z1-0,55-W		100	105	81	70

Tabelle A 21: Arbeitsvermögen von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert im Alter von 28, 140 und 336 Tagen nach Referenzlagerung im Klimaraum (20 °C, 60 % rel. Luftfeuchte) - errechnet basierend auf Ergebnissen des verformungsgesteuerten Druckversuchs

Arbeitsvermögen von Betonzylinder nach Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser											
Probenserie		-	GW-Z1-0,35-W			GW-Z1-0,45-W			GW-Z1-0,55-W		
Lagerungsdauer		Tage	28	140	336	28	140	336	28	140	336
Lagerungstemperatur		°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Art der Messung und Lagerung		-	dk	dk	dk	dk	dk	dk	dk	dk	dk
Basis Wertberechnung		-	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
Höchstlast	σ_{Bruch}	N/mm ²	64,91	73,16	67,11	59,93	65,79	67,33	42,16	44,87	46,62
Dehnung unter Höchstlast	$\varepsilon_{\text{Bruch}}$	‰	2,96	2,86	3,05	2,73	2,82	3,37	2,62	2,75	2,91
Arbeitsvermögen:											
im Belastungsast (bis $\varepsilon_{\text{Bruch}}$)	bez. AVB	-	1430	1557	1672	1573	1514	1849	1617	1708	1771
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	3,80	3,51	3,33	4,01	3,62	4,15	4,74	4,77	4,26
	AV _{ges}	-	2307	2115	1933	2656	2202	2530	3361	3374	2888
	AVE	-	877	558	261	1.083	688	681	1.744	1.666	1.117
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,3\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	4,67	4,30	3,67	5,18	4,65	4,99	6,89	6,64	5,44
	AV _{ges}	-	2682	2434	2058	3176	2617	2885	4302	4166	3401
	AVE	-	1.252	877	386	1.603	1.103	1.036	2.685	2.458	1.630
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	8,20	8,90	5,82	6,96	7,98	7,15	8,90	8,90	8,06
	AV _{ges}	-	3245	3210	2405	3488	3171	3258	4764	4658	3845
	AVE	-	1.815	1.653	733	1.915	1.657	1.409	3.147	2.950	2.074

dk diskontinuierlich

\bar{x} Mittelwert

σ_{Bruch} maximal aufnehmbare Druckspannung, d.h. Bruchspannung

$\varepsilon_{\text{Bruch}}$ Längsstauchung bei maximal aufnehmbarer Druckspannung, d.h. Bruchstauchung

bez. AVB bezogenes Arbeitsvermögen im Belastungsast bis zu σ_{Bruch} und $\varepsilon_{\text{Bruch}}$

σ_{Grenz} festgelegte Grenzspannung, bis zu der Berechnung des Arbeitsvermögens erfolgt

AV_{ges} gesamtes Arbeitsvermögen, d.h. im Belastungs- und Entlastungsast zusammen

AVE Arbeitsvermögen im Entlastungsast

Tabelle A 22: Arbeitsvermögen von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert im Alter von 140 Tagen nach 60 °C-Betonversuch über Wasser - errechnet basierend auf Ergebnissen des verformungsgesteuerten Druckversuchs

Arbeitsvermögen von Betonzylindern nach 140 Tagen 60 °C-Betonversuch über Wasser								
Probenserie		-	GW-Z1-0,35-W2		GW-Z1-0,45-W		GW-Z1-0,55-W	
Lagerungsdauer		Tage	140	140	140	140	140	140
Lagerungstemperatur		°C	60	60	60	60	60	60
Art der Messung und Lagerung		-	k	dk	k	dk	k	dk
Basis Wertberechnung		-	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
Höchstlast	σ_{Bruch}	N/mm ²	67,91	63,30	62,91	62,23	45,03	47,22
Dehnung unter Höchstlast	$\varepsilon_{\text{Bruch}}$	‰	3,87	3,91	3,08	3,83	3,03	3,40
Arbeitsvermögen:								
im Belastungsast (bis $\varepsilon_{\text{Bruch}}$)	bez. AVB	-	2043	2165	1706	2154	1673	1949
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	4,80	4,90	4,28	4,73	4,85	4,85
	AV _{ges}	-	2841	2977	2715	2917	3189	3174
	AVE	-	798	812	1.009	763	1.516	1.225
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,3\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	5,31	5,62	5,35	5,77	6,87	6,50
	AV _{ges}	-	3049	3302	3157	3338	4039	3884
	AVE	-	1.006	1.137	1.451	1.184	2.366	1.935
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	8,29	8,00	7,80	8,90	8,90	8,90
	AV _{ges}	-	3527	3678	3612	3905	4512	4385
	AVE	-	1.484	1.513	1.906	1.751	2.839	2.436

k	kontinuierlich
dk	diskontinuierlich
\bar{x}	Mittelwert
σ_{Bruch}	maximal aufnehmbare Druckspannung, d.h. Bruchspannung
$\varepsilon_{\text{Bruch}}$	Längsstauchung bei maximal aufnehmbarer Druckspannung, d.h. Bruchstauchung
bez. AVB	bezogenes Arbeitsvermögen im Belastungsast bis zu σ_{Bruch} und $\varepsilon_{\text{Bruch}}$
σ_{Grenz}	festgelegte Grenzspannung, bis zu der Berechnung des Arbeitsvermögens erfolgt
AV _{ges}	gesamtes Arbeitsvermögen, d.h. im Belastungs- und Entlastungsast zusammen
AVE	Arbeitsvermögen im Entlastungsast

Tabelle A 23: Arbeitsvermögen von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwanke-Splitt bei variierendem w/z-Wert im Alter von 336 Tagen nach 40 °C-Nebelkammerlagerung - errechnet basierend auf Ergebnissen des verformungsgesteuerten Druckversuchs

Arbeitsvermögen von Betonzylindern nach 336 Tagen Nebelkammerlagerung								
Probenserie		-	GW-Z1-0,35-W		GW-Z1-0,45-W		GW-Z1-0,55-W	
Lagerungsdauer		Tage	336	336	336	336	336	336
Lagerungstemperatur		°C	40	40	40	40	40	40
Art der Messung und Lagerung		-	k	dk	k	dk	k	dk
Basis Wertberechnung		-	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
Höchstlast	σ_{Bruch}	N/mm ²	90,22	90,62	73,80	71,44	48,40	44,41
Dehnung unter Höchstlast	$\varepsilon_{\text{Bruch}}$	‰	3,78	3,48	3,32	3,24	2,99	2,72
Arbeitsvermögen:								
im Belastungsast (bis $\varepsilon_{\text{Bruch}}$)	bez. AVB	-	2075	1843	1847	1775	1702	1569
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	4,20	3,84	4,08	4,05	4,67	4,74
	AV _{ges}	-	2431	2169	2500	2466	3056	3201
	AVE	-	356	326	653	691	1.354	1.632
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,3\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	4,72	4,47	4,88	5,14	6,42	7,08
	AV _{ges}	-	2640	2437	2835	2923	3811	4233
	AVE	-	565	594	988	1.148	2.109	2.664
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	7,27	5,55	7,87	8,90	8,90	8,90
	AV _{ges}	-	3075	2604	3339	3584	4297	4642
	AVE	-	1.000	761	1.492	1.809	2.595	3.073

k kontinuierlich
 dk diskontinuierlich
 \bar{x} Mittelwert
 σ_{Bruch} maximal aufnehmbare Druckspannung, d.h. Bruchspannung
 $\varepsilon_{\text{Bruch}}$ Längsstauchung bei maximal aufnehmbarer Druckspannung, d.h. Bruchstauchung
 bez. AVB bezogenes Arbeitsvermögen im Belastungsast bis zu σ_{Bruch} und $\varepsilon_{\text{Bruch}}$
 σ_{Grenz} festgelegte Grenzspannung, bis zu der Berechnung des Arbeitsvermögens erfolgt
 AV_{ges} gesamtes Arbeitsvermögen, d.h. im Belastungs- und Entlastungsast zusammen
 AVE Arbeitsvermögen im Entlastungsast

Tabelle A 24: Arbeitsvermögen von aus 300 mm³-Betonwürfeln gewonnenen Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert im Alter von 336 Tagen nach 40 °C-Nebelkammerlagerung - errechnet basierend auf Ergebnissen des verformungsgesteuerten Druckversuchs

Arbeitsvermögen von Betonwürfeln nach 336 Tagen Nebelkammerlagerung					
Probenserie		-	GW-Z1-0,35-W	GW-Z1-0,45-W	GW-Z1-0,55-W
Lagerungsdauer		Tage	336	336	336
Lagerungstemperatur		°C	40	40	40
Art der Messung und Lagerung		-	dk	dk	dk
Basis Wertberechnung		-	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
Höchstlast	σ_{Bruch}	N/mm ²	85,39	48,44	38,02
Dehnung unter Höchstlast	$\varepsilon_{\text{Bruch}}$	‰	3,58	3,56	3,62
Arbeitsvermögen:					
im Belastungsast (bis $\varepsilon_{\text{Bruch}}$)	bez. AVB	-	1895	2103	2221
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	4,14	5,21	5,70
	AV _{ges}	-	2354	3493	3938
	AVE	-	459	1.390	1.717
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,3\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	4,57	6,64	8,66
	AV _{ges}	-	2515	4101	5180
	AVE	-	619	1.998	2.959
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	8,86	8,90	8,90
	AV _{ges}	-	3204	4577	5250
	AVE	-	1.309	2.474	3.029

dk diskontinuierlich

\bar{x} Mittelwert

σ_{Bruch} maximal aufnehmbare Druckspannung, d.h. Bruchspannung

$\varepsilon_{\text{Bruch}}$ Längsstauchung bei maximal aufnehmbarer Druckspannung, d.h. Bruchstauchung

bez. AVB bezogenes Arbeitsvermögen im Belastungsast bis zu σ_{Bruch} und $\varepsilon_{\text{Bruch}}$

σ_{Grenz} festgelegte Grenzspannung, bis zu der Berechnung des Arbeitsvermögens erfolgt

AV_{ges} gesamtes Arbeitsvermögen, d.h. im Belastungs- und Entlastungsast zusammen

AVE Arbeitsvermögen im Entlastungsast

Tabelle A 25: Arbeitsvermögen von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm und aus 300 mm³-Betonwürfeln gewonnenen Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 und LP-Bildner im Alter von 140 Tagen nach 60°C-Betonversuch bzw. im Alter von 336 Tagen nach 40 °C-Nebelkammerlagerung – errechnet basierend auf Ergebnissen des verformungsgesteuerten Druckversuchs

Arbeitsvermögen der Probenreihe GW-Z1-0,45-LP						
Probekörpergeometrie	-		Betonzylinder			Betonwürfel
			Ø 70 L 280 [mm]			300 x 300 x 300 [mm]
Lagerungsdauer	Tage		140	336	336	336
Lagerungstemperatur	°C		60	20	40	40
Art der Messung und Lagerung	-		k	dk	k	dk
Basis Wertberechnung	-		\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
Höchstlast	σ_{Bruch}	N/mm ²	62,56	59,07	70,87	40,06
Dehnung unter Höchstlast	$\varepsilon_{\text{Bruch}}$	‰	3,50	2,99	3,27	3,75
Arbeitsvermögen:						
im Belastungsast (bis $\varepsilon_{\text{Bruch}}$)	bez. AVB	-	1948	1624,3	1738,82	2263
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	4,64	4,23	3,92	6,16
	AV _{ges}	-	2896	2671,79	2272,2	4271
	AVE	-	948	1.047	533	2.008
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,3\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	6,32	6,14	4,98	8,27
	AV _{ges}	-	3611	3414,27	2724,12	5180
	AVE	-	1.663	1.790	985	2.917
im Entlastungsast bei $\sigma_{\text{Grenz}} = 0,6\sigma_{\text{max}}$	$\varepsilon_{0,6\sigma_{\text{max}}}$	‰	8,90	8,90	8,90	8,90
	AV _{ges}	-	4160	4046,25	3447,23	5354
	AVE	-	2.211	2.422	1.708	3.090

k kontinuierlich
 dk diskontinuierlich
 \bar{x} Mittelwert
 σ_{Bruch} maximal aufnehmbare Druckspannung, d.h. Bruchspannung
 $\varepsilon_{\text{Bruch}}$ Längsstauchung bei maximal aufnehmbarer Druckspannung, d.h. Bruchstauchung
 bez. AVB bezogenes Arbeitsvermögen im Belastungsast bis zu σ_{Bruch} und $\varepsilon_{\text{Bruch}}$
 σ_{Grenz} festgelegte Grenzspannung, bis zu der Berechnung des Arbeitsvermögens erfolgt
 AV_{ges} gesamtes Arbeitsvermögen, d.h. im Belastungs- und Entlastungsast zusammen
 AVE Arbeitsvermögen im Entlastungsast

Tabelle A 26: Analyseergebnissen der im Edelstahlbehälter enthaltenen Lösung nach 140 Tagen Lagerung im 60 °C-Betonversuch über Wasser zur Verifizierung der Auslaugung an Alkalien und Sulfaten aus Betonbalken 75 x 75 x 280 [mm] bzw. Betonzylindern (Ø 70 mm, l 280 mm) mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert

Analyseergebnisse der Lösungen nach 60 °C-Betonversuch über Wasser (Mittelwerte)										
Probenserie		GW-Z1-0,35-W			GW-Z1-0,45-W			GW-Z1-0,55-W		
Probekörper- geometrie	Art	Zylinder		Balken	Zylinder		Balken	Zylinder		Balken
	mm	Ø 70 L 280		75 x 75 x 280	Ø 70 L 280		75 x 75 x 280	Ø 70 L 280		75 x 75 x 280
Anzahl Probekörper je Behälter		1	3	3	1	3	3	1	3	3
Lagerungsart		k	dk	dk	k	dk	dk	k	dk	dk
Natrium	mg/Pk	454	207	204	436	196	213	300	218	230
Kalium	mg/Pk	1.583	787	598	1448	606	624	1.262	629	690
Sulfat	mg/Pk	618	264	313	570	355	351	727	405	418
pH-Wert	-	10,2	12,7	12,7	10,6	12,7	12,6	10,4	12,6	12,6

k kontinuierlich
dk diskontinuierlich
Pk Probekörper

Tabelle A 27: Analyseergebnissen der im Edelstahlbehälter enthaltenen Lösung nach 140 Tagen Lagerung im 60 °C-Betonversuch über Wasser zur Verifizierung der Auslaugung an Alkalien und Sulfaten aus Betonzylindern (Ø 70 mm, l 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45, Prüfzement ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{äqu}} = 1,3 \text{ M.-%}$)

Analyseergebnisse der Lösungen nach 60 °C-Betonversuch über Wasser (Mittelwerte)						
Medium im Behälter zum Lagerungsbeginn		Wasser			Ca(OH) ₂ -Lösung mit pH-Wert von 12	
Anzahl Probekörper je Behälter		1	3	3	1	3
Lagerungsart		k	k	dk	k	dk
Natrium	mg/Pk	239	147	122	212	91
Kalium	mg/Pk	1.942	1.301	1.053	2.084	1.115
Sulfat	mg/Pk	332	142	263	230	187
pH-Wert	-	11,7	13,0	13,3	11,3	13,3

k kontinuierlich
dk diskontinuierlich
Pk Probekörper

10.1.3 Hohes externes Schädigungspotenzial

Tabelle A 28 Frischbetonkennwerte der Straßenbaubetone für ein hohes externes Schädigungspotenzial

Bezeichnung Beton	Rohdichte			Luftgehalt			Verdichtungsmaß
	[kg/m³]			[Vol.-%]			[-]
	10'	45'	60'	10'	45'	60'	10'
GW-Z3-0,40_1	2377	2418	2423	4,4	3,7	3,8	1,40
GW-Z3-0,40_2	2380	2409	n.b.	4,4	3,7	n.b.	1,38
GW-Z3-0,45_1	2337	2342	2337	5,7	5,5	5,3	1,14
GW-Z3-0,45_2	2332	2333	2356	5,0	4,8	4,8	1,17
GW-Z3-0,45_3	2350	2353	n.b.	4,6	4,5	n.b.	1,16

Tabelle A 29 Frischbetonrohddichte der Probekörper der Straßenbaubetone direkt nach dem Herstellen

Bezeichnung Beton	Frischbetonrohddichte [g/cm³]					
	Zylinder			Balken	Würfel	
	Ø 75 L 225 [mm]	Ø 100 L 300 [mm]	Ø 150 L 300 [mm]	100 x 100 x 400 [mm]	100 x 100 x 100 [mm]	150 x 150 x 150 [mm]
GW-Z3-0,40_1	2490	2430	2420	2465	2435	2425
GW-Z3-0,40_2	2470	2400	2390	2460	2420	2385
GW-Z3-0,45_1	2390	2320	2300	2410	2355	2320
GW-Z3-0,45_2	2400	2330	2320	2385	2365	2325
GW-Z3-0,45_3	-	-	-	2400	-	2330

Tabelle A 30 Rohdichte der Straßenbaubetone nach dem Ausschalen im Alter von einem Tag

Bezeichnung Beton	Festbetonrohddichte [g/cm³]					
	Zylinder			Balken	Würfel	
	Ø 75 L 225 [mm]	Ø 100 L 300 [mm]	Ø 150 L 300 [mm]	100 x 100 x 400 [mm]	100 x 100 x 100 [mm]	150 x 150 x 150 [mm]
GW-Z3-0,40_1	2410	2410	2400	2375	2390	2390
GW-Z3-0,40_2	2400	2390	2390	2390	2375	2375
GW-Z3-0,45_1	2320	2320	2300	2320	2315	2310
GW-Z3-0,45_2	2330	2330	2320	2320	2330	2320
GW-Z3-0,45_3	-	-	-	2330	-	2320

10.2 Bilder

10.2.1 Petrografie Gesteinskörnung

Probe: Sauerländer Grauwacke-Splitt – Dünnschliff 1: Detail 1

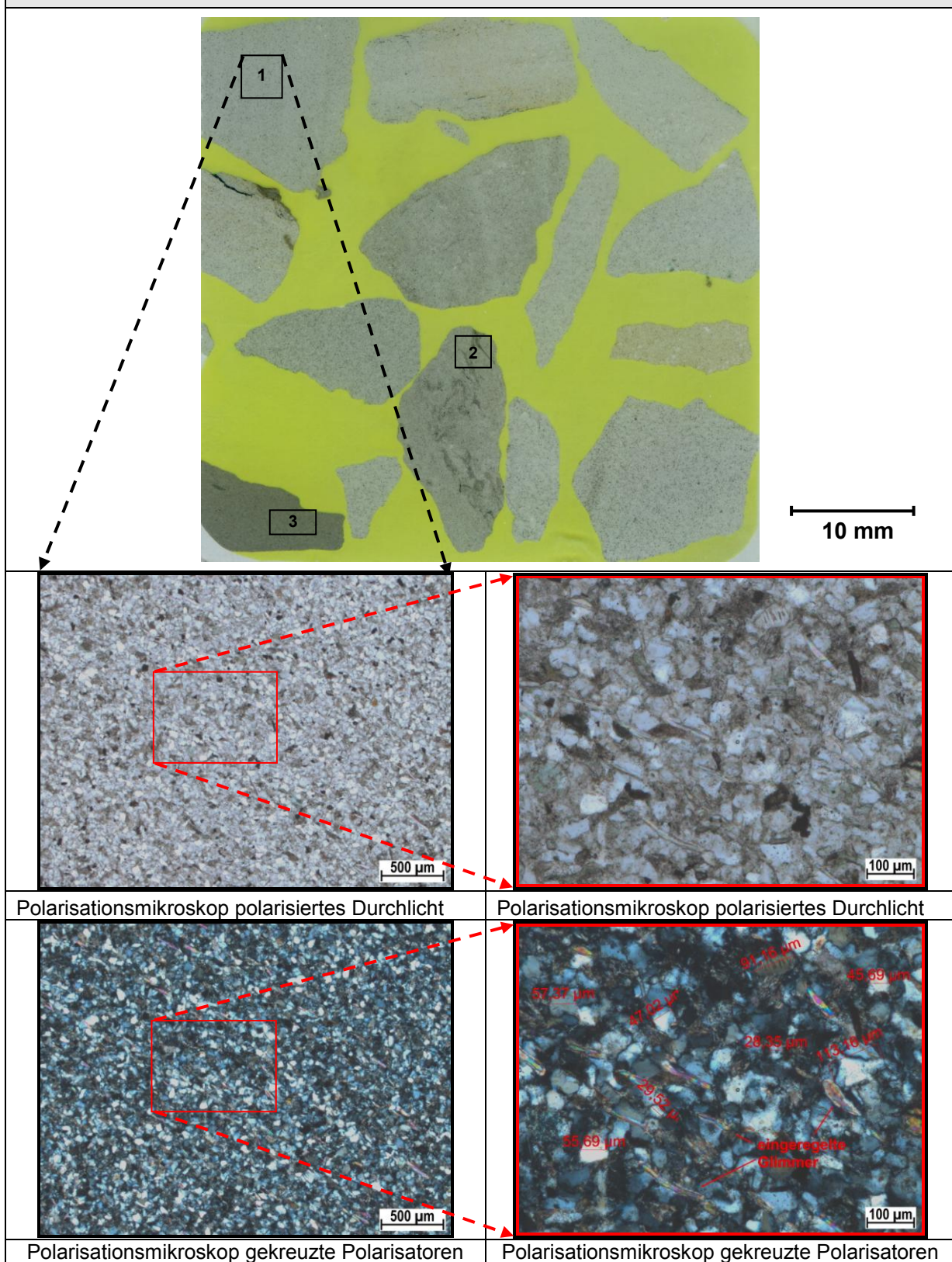


Abbildung A 1 Petrografie Sauerländer Grauwacke-Splitt – helles Korn: feinkörniger Quarz mit Korngrößen größer 25 µm, eingeregelter moskowitzischer Glimmer und stark verwitterte Alkalifeldspäte und/oder Glimmer

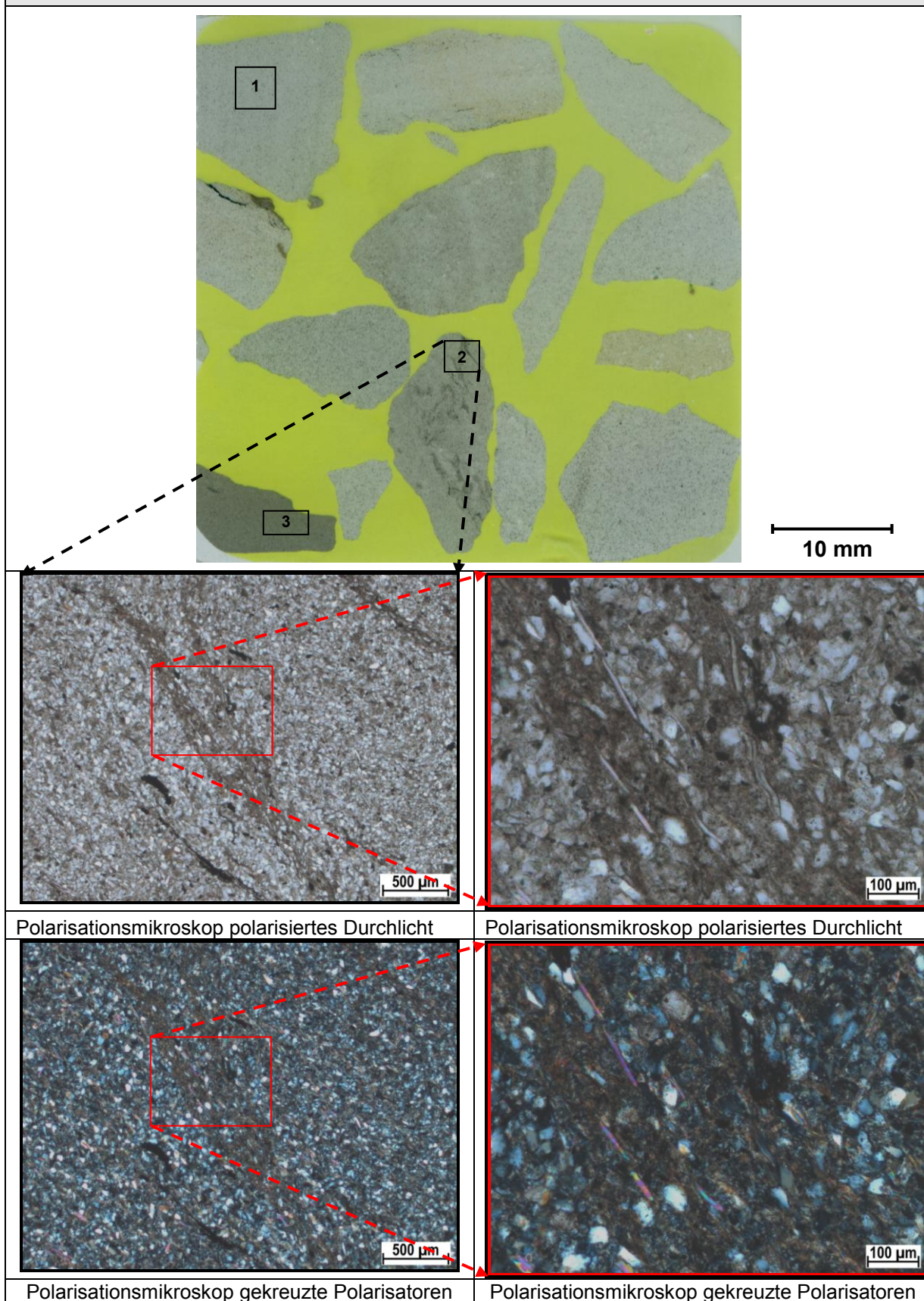
Probe: Sauerländer Grauwacke-Splitt – Dünnschliff 1: Detail 2


Abbildung A 2 Petrografie Sauerländer Grauwacke-Splitt: Korn mit ton- bzw. schluffhaltigen Lagen

Probe: Sauerländer Grauwacke-Splitt – Dünnschliff 1: Detail 3

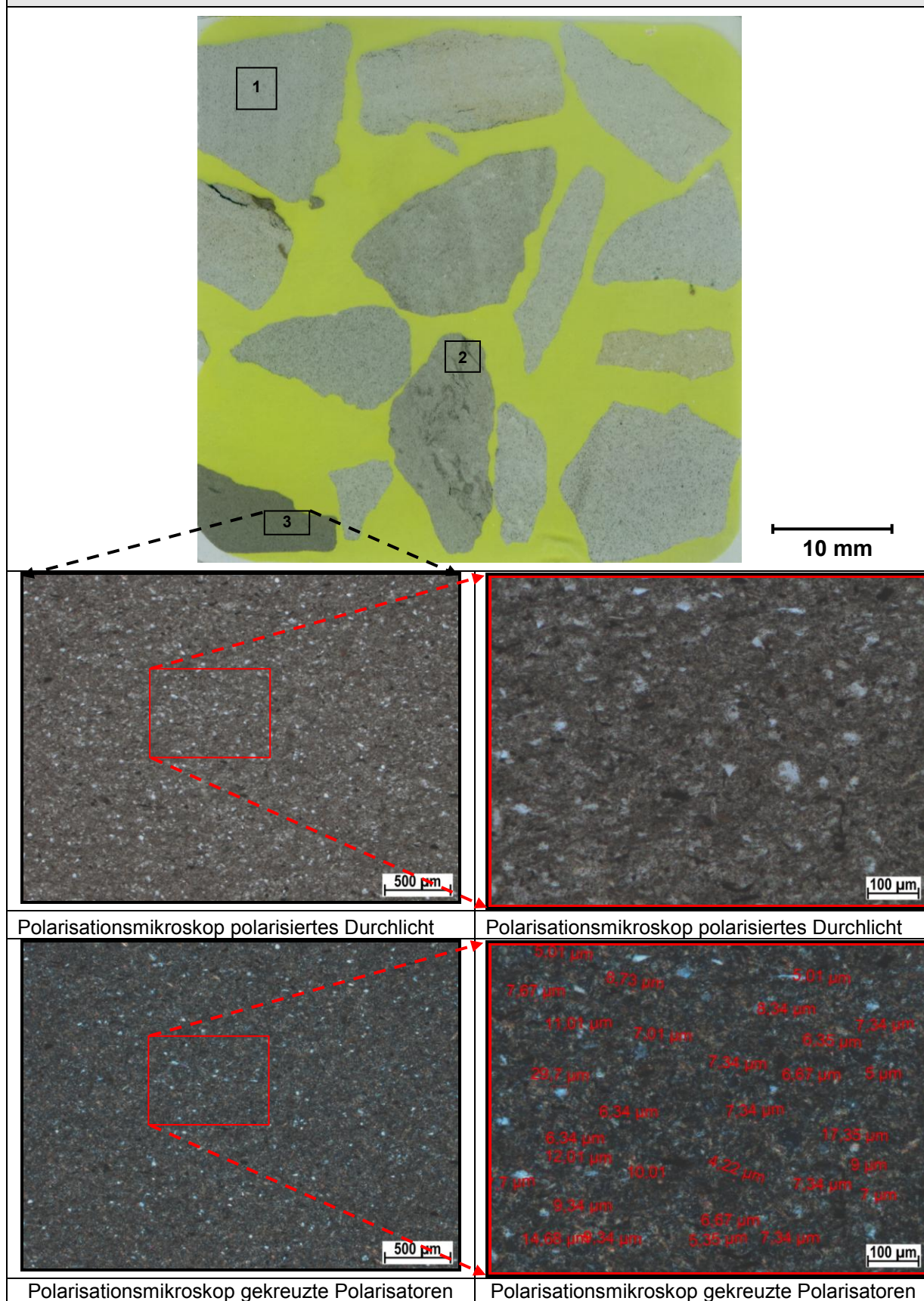


Abbildung A 3 Petrografie Sauerländer Grauwacke-Splitt – dunkles Korn: feinst körnig mit Korngrößen kleiner als 10 µm

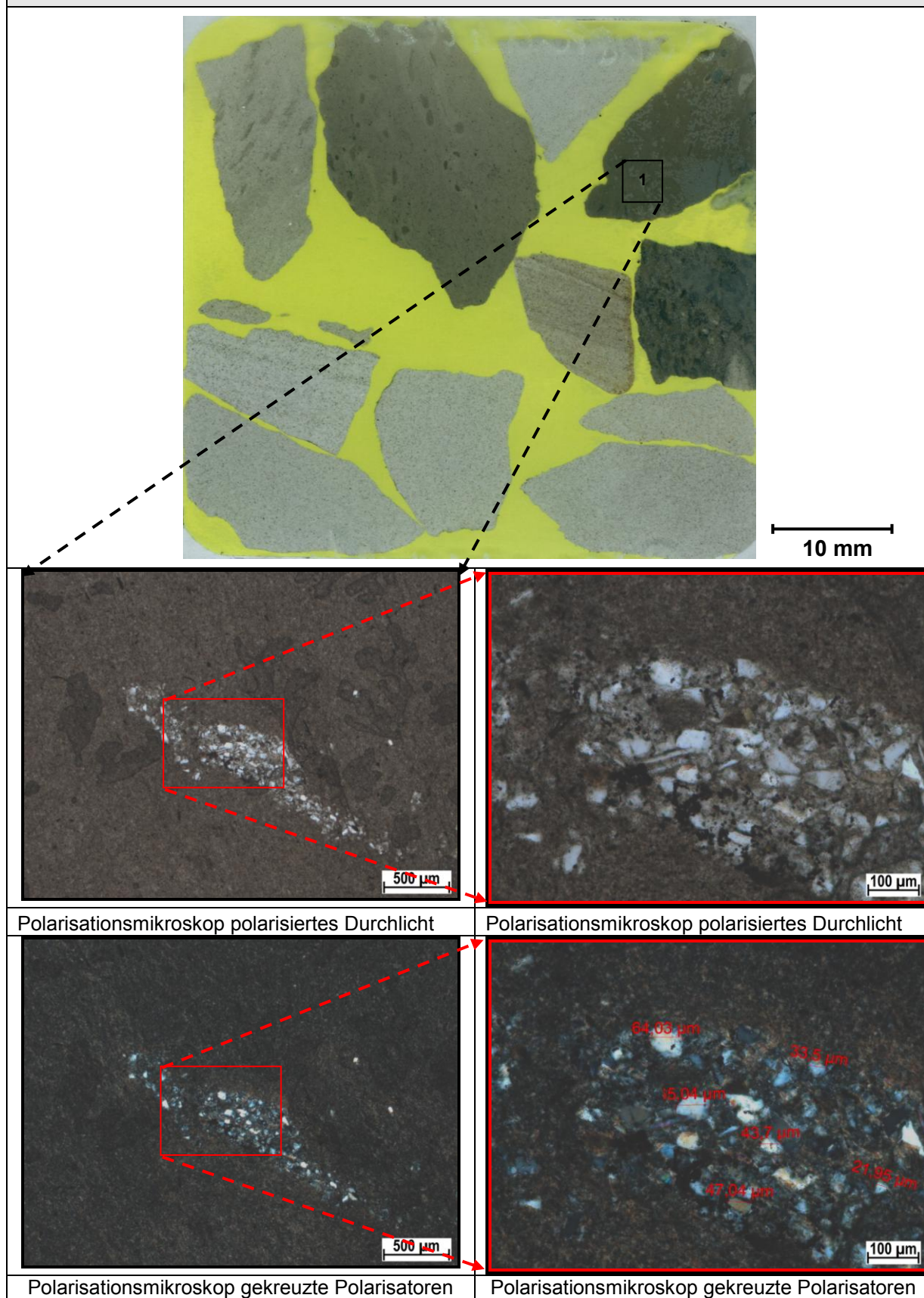
Probe: Sauerländer Grauwacke-Splitt – Dünnschliff 2: Detail 1


Abbildung A 4 Petrografie Sauerländer Grauwacke-Splitt – dunkles Korn mit Agglomerationen größerer Körner in feinkörniger Matrix: feinst körniges Korn (Korngrößen $< 10 \mu\text{m}$) mit Einschlüssen von Partikeln größerer Korngrößen (ca. $15 - 65 \mu\text{m}$)

Probe: Kies-Edelsplitt vom Oberrhein – Detail 2 und 3

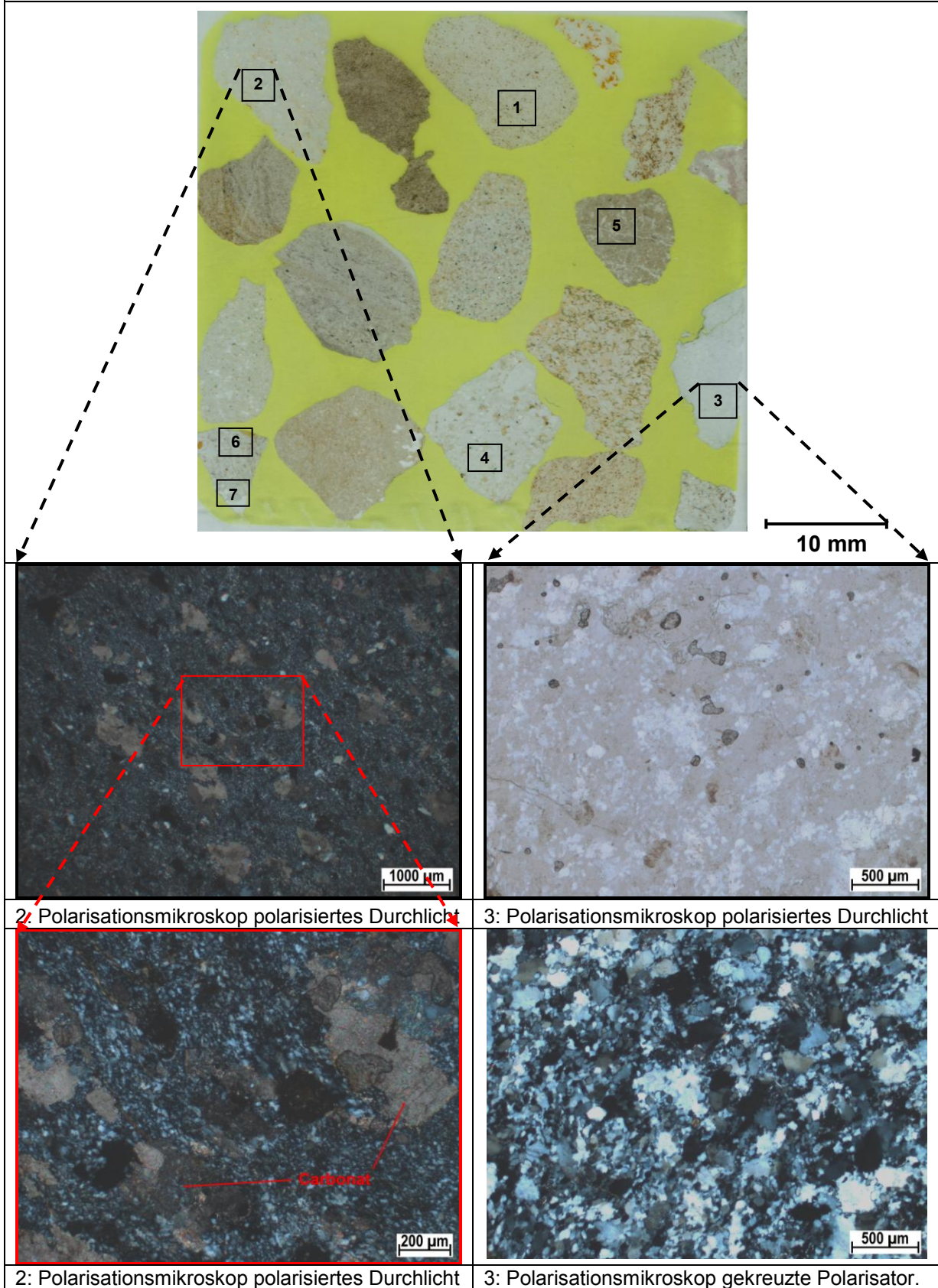


Abbildung A 5 Petrografie Kies-Edelsplitt vom Oberrhein – Detail 2: sehr feinkörniger, schwach metamorph überprägter Quarzit mit Carbonat; Detail 3: feinkörniger, metamorph überprägter Quarzit

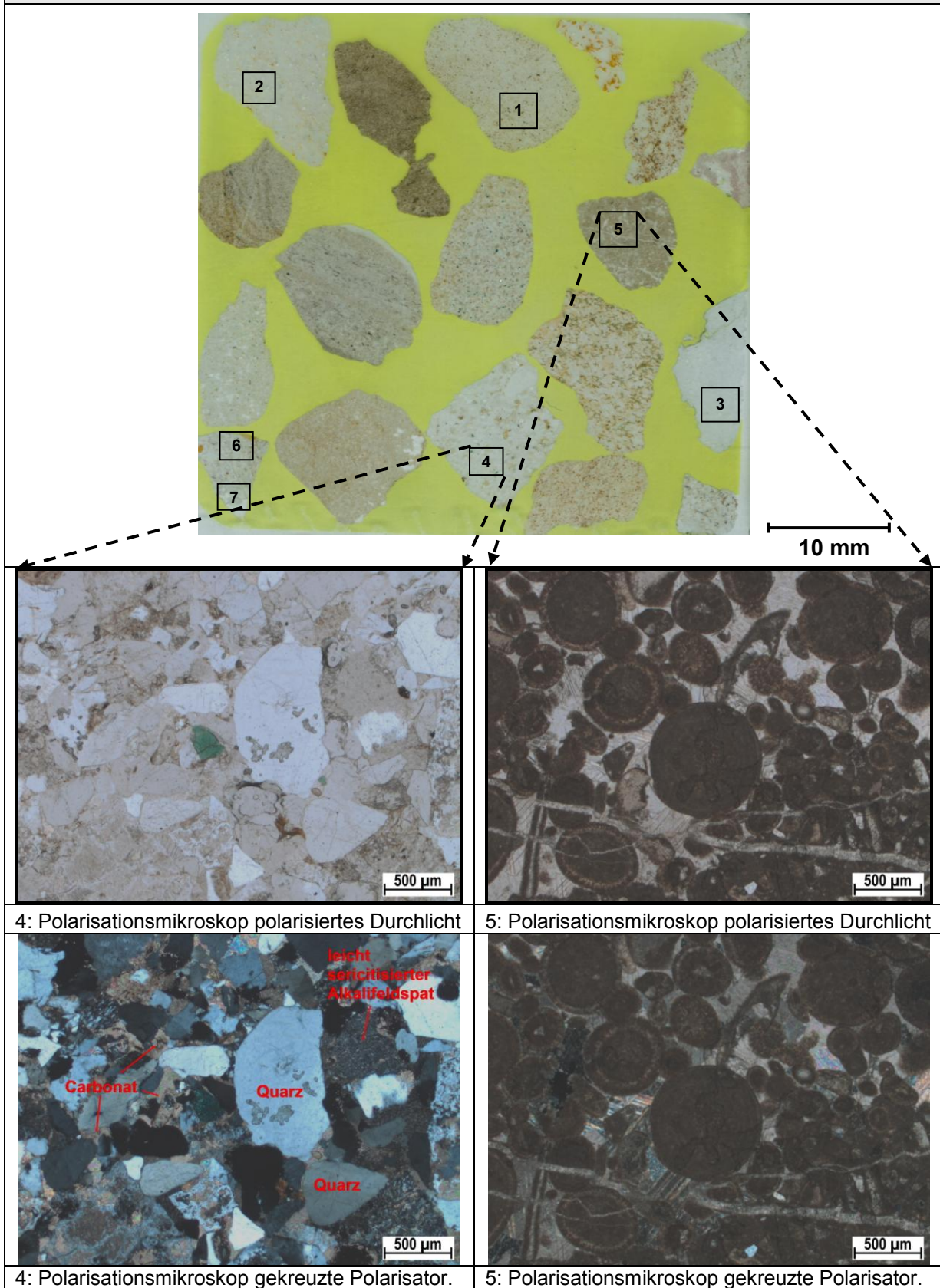
Probe: Kies-Edelsplitt vom Oberrhein – Detail 4 und 5


Abbildung A 6 Petrografie Kies-Edelsplitt vom Oberrhein – Detail 4: Kalkarenit; Detail 5: Kalkstein: carbonatische Ooide durch Carbonate verkittet, Ooide teilweise verzwillingt

Probe: Kies-Edelsplitt vom Oberrhein – Detail 6

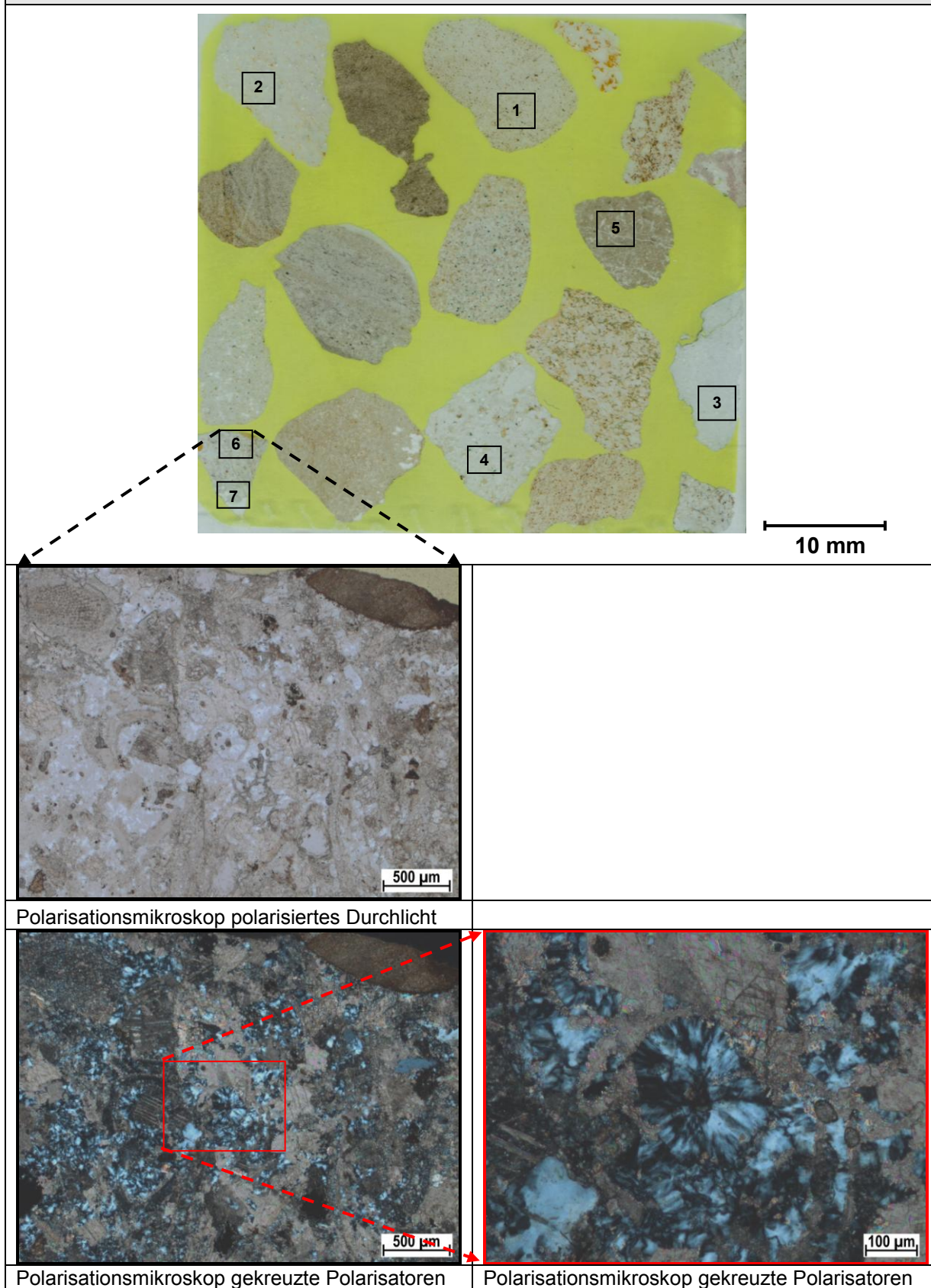


Abbildung A 7 Petrografie Kies-Edelsplitt vom Oberrhein – Detail 6: kryptokristallines SiO_2 (Calcedon) in Kieselkalk

Probe: Quarzporphyr (Rhyolith)-Splitt –Detail 2 und 3

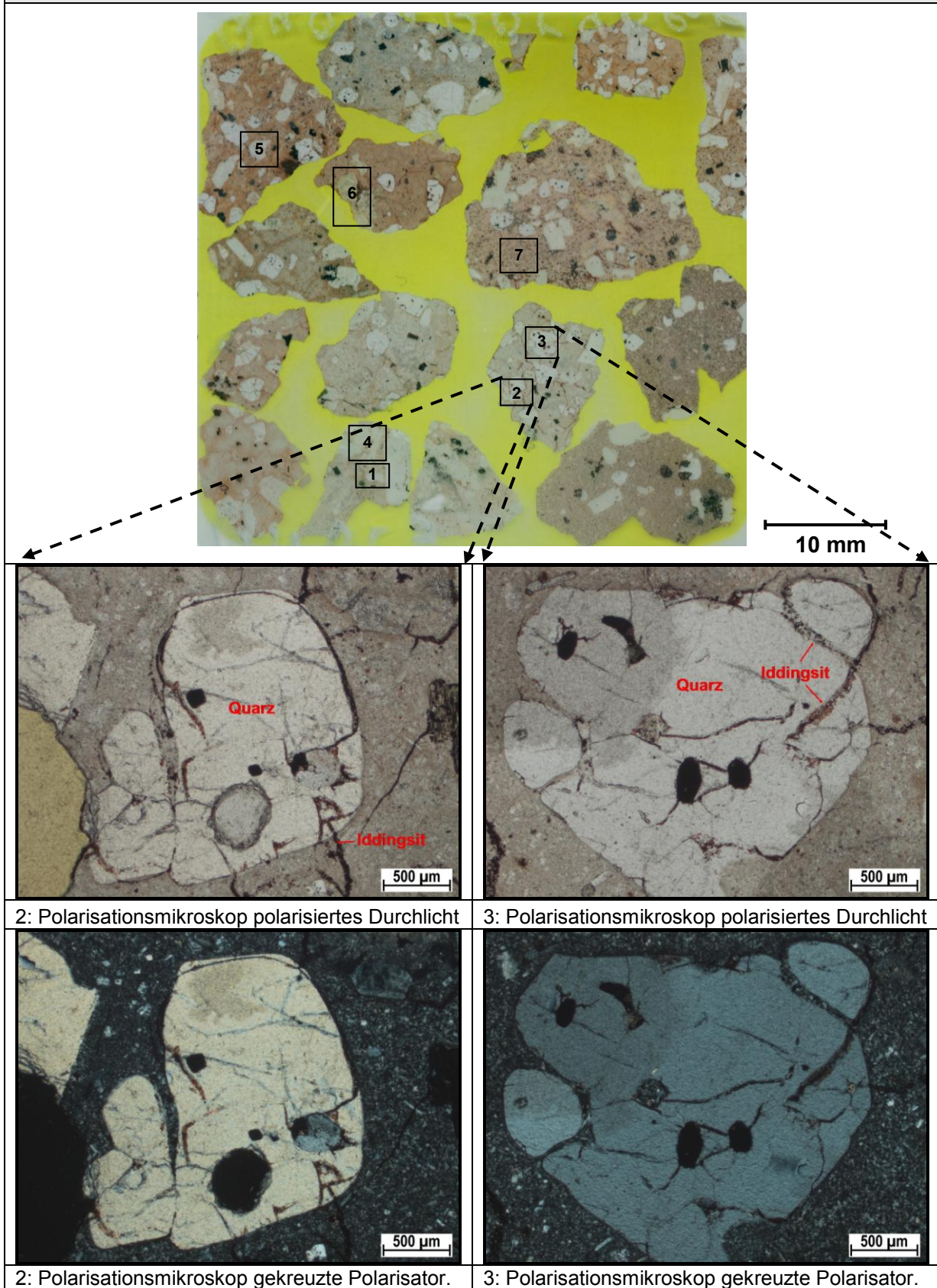


Abbildung A 8 Petrografie Quarzporphyr-Splitt – Detail 2 und 3: Quarzeinsprengling mit Iddingsit

Probe: Quarzporphyr (Rhyolith)-Splitt –Detail 5 und 6

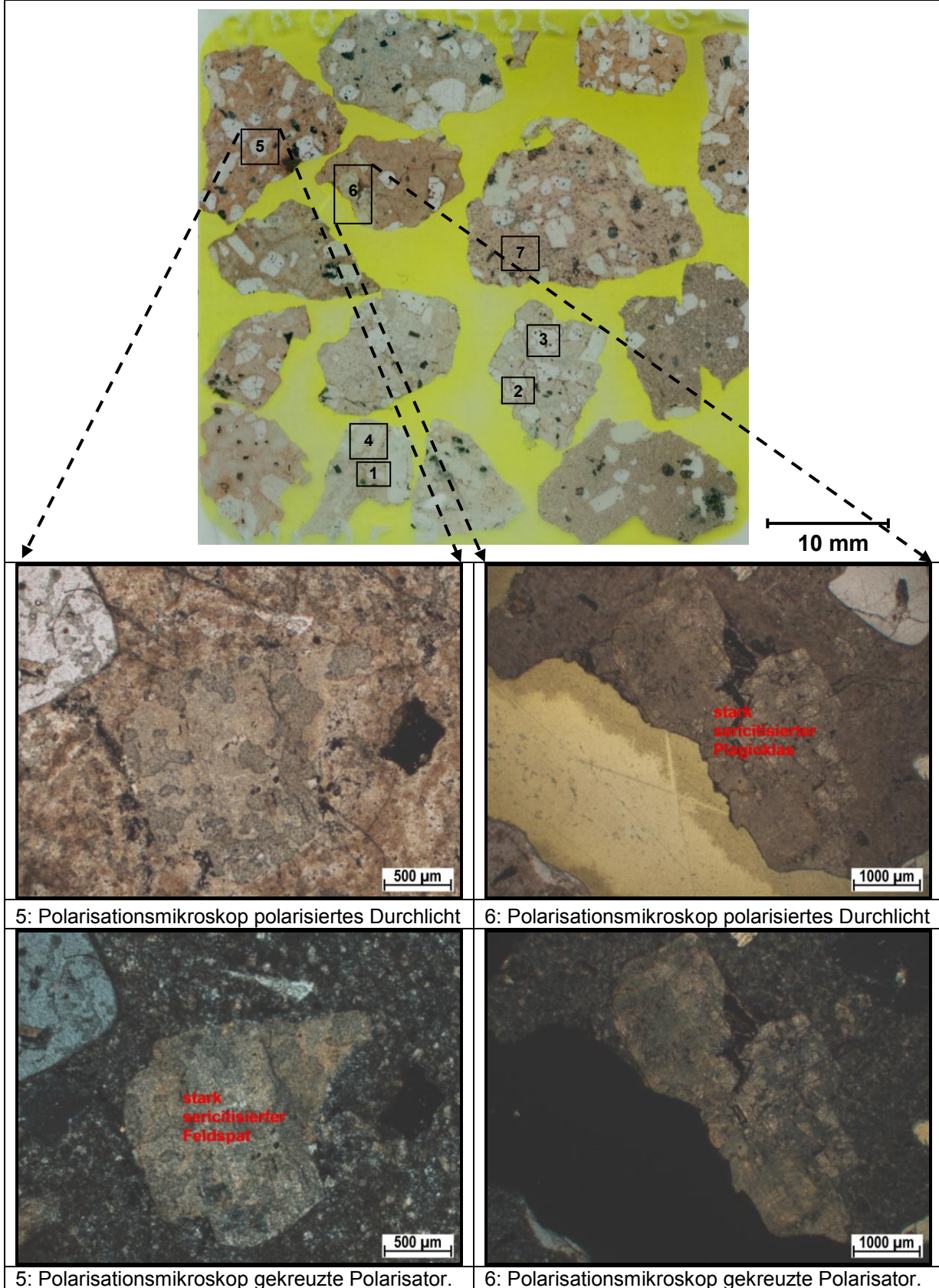


Abbildung A 9 Petrografie Quarzporphyr-Splitt – Detail 5: stark sericitisierter Feldspat; Detail 6: stark sericitisierter Plagioklas

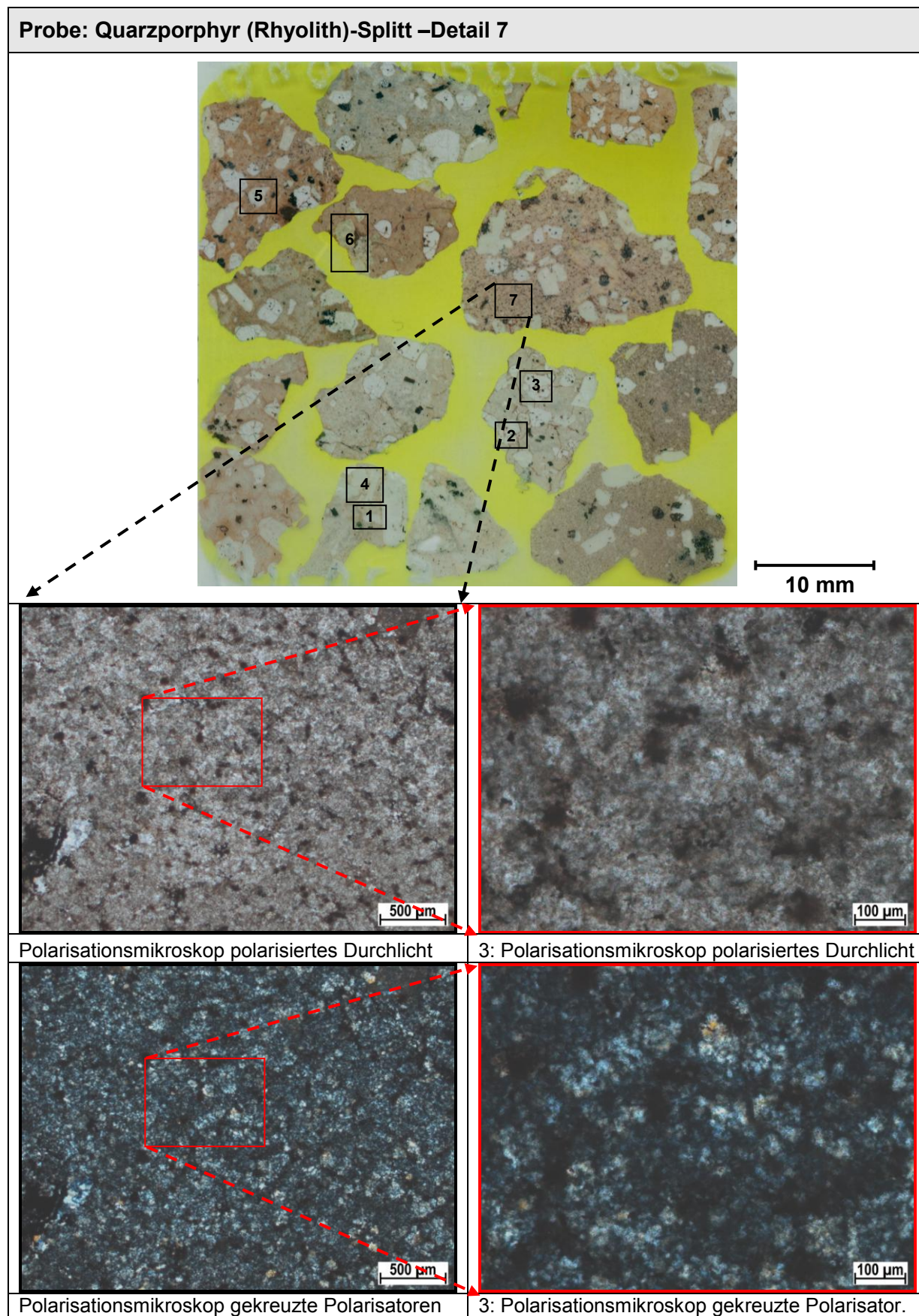


Abbildung A 10 Petrografie Quarzporphyr-Splitt – Detail 7: Matrix bestehend aus Verwachsungen von Quarz und stark sericitisierten Feldspäten

10.2.2 Hohes internes Schädigungspotenzial

10.2.2.1 Variation w/z-Wert

Ausgangszustand

➤ Festbetonrohddichte

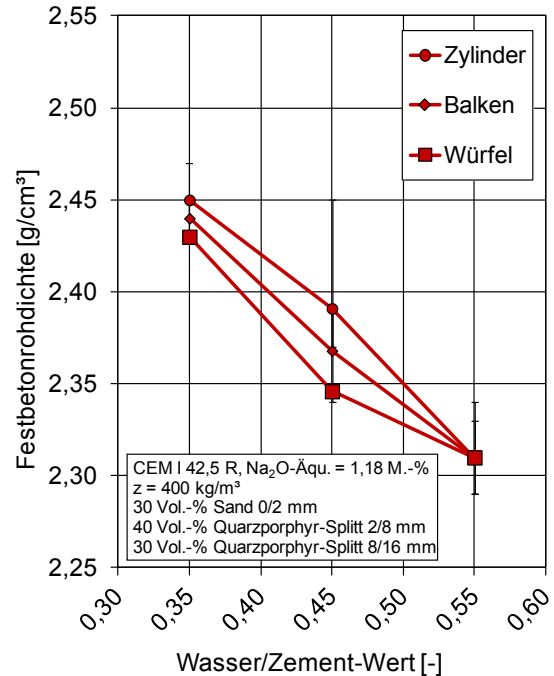
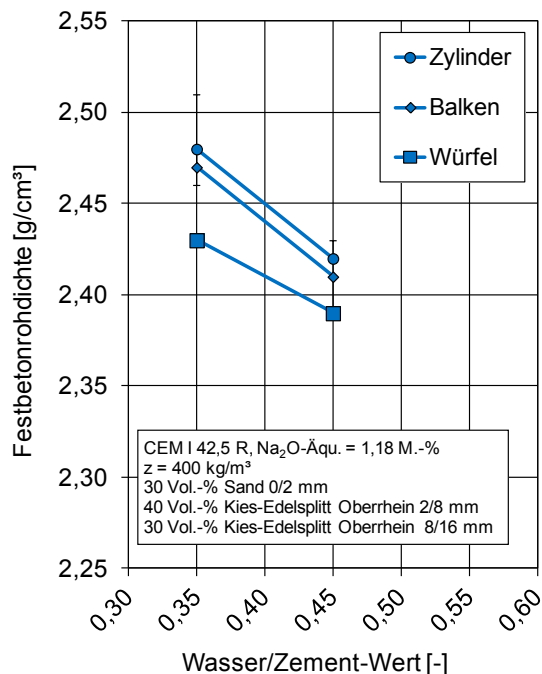


Abbildung A 11 Festbetonrohddichten Beton mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein (links) und Quarzporphyr-Splitt (rechts)

➤ Porositäten

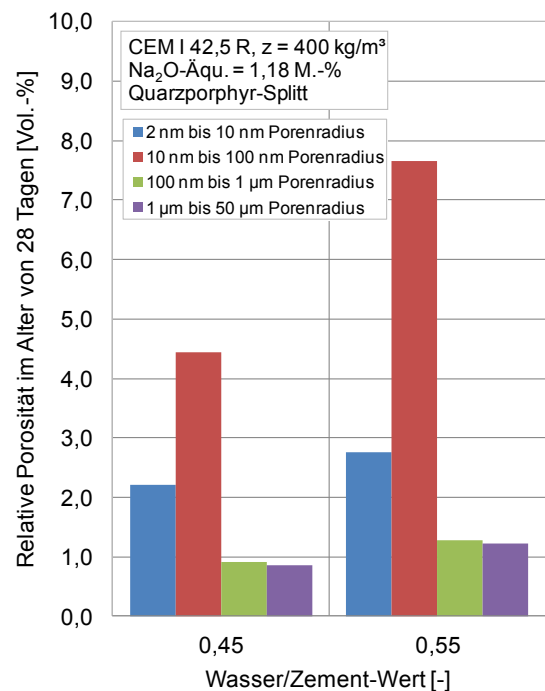
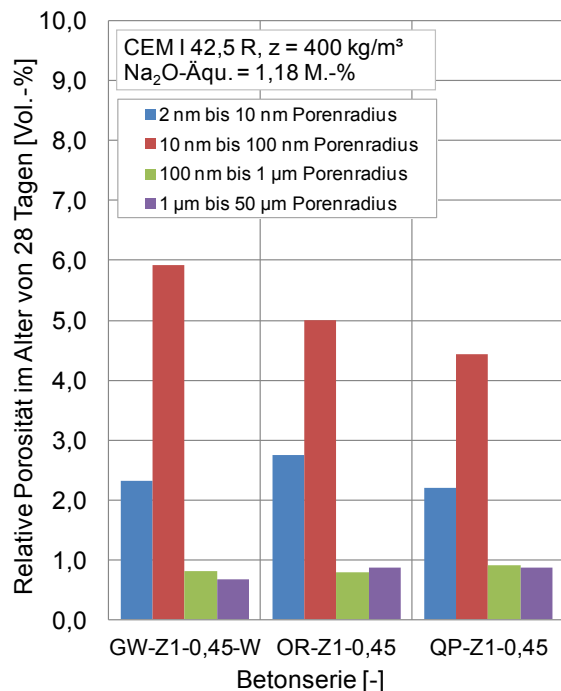


Abbildung A 12 Porenradienverteilung von Beton bei variierenden Gesteinskörnungen mit einem w/z-Wert von 0,45 (links) und von Beton mit Quarzporphyr-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 und 0,55 (rechts) bei einer Lagerung von 28 Tagen über Wasser

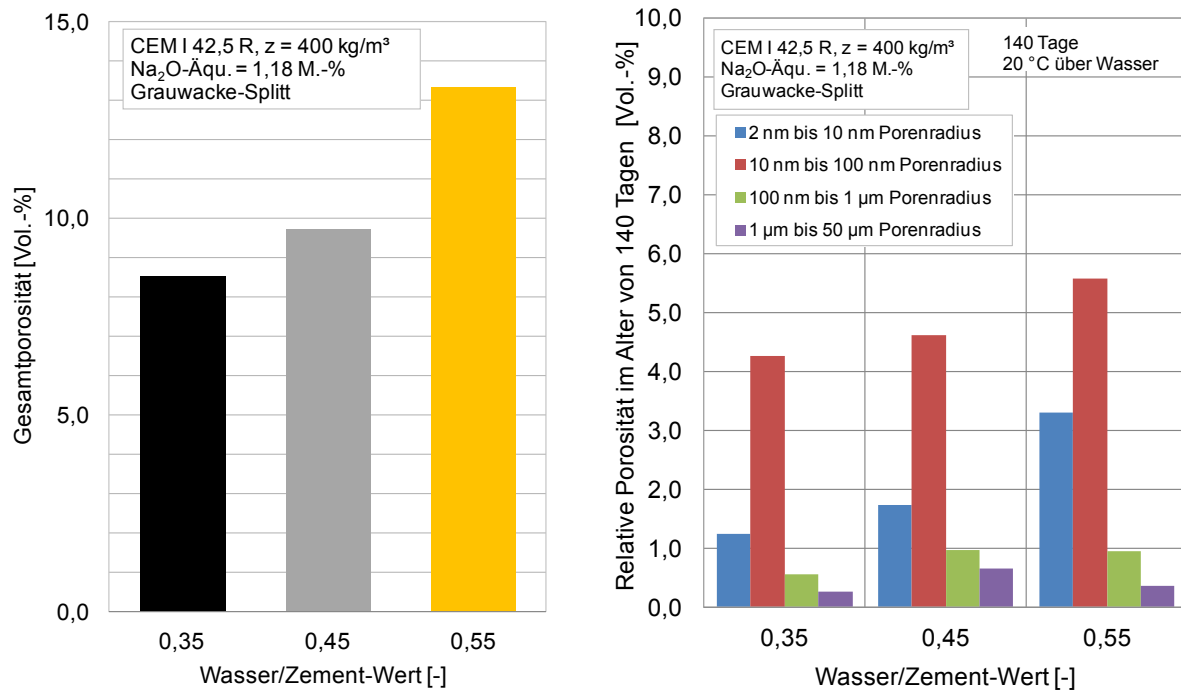


Abbildung A 13 Einfluss des w/z-Wertes von Beton mit Grauwacke-Splitt auf die Gesamtporosität mittels Hg-Porosimetrie nach einer 28tägigen Lagerung über Wasser (links) und die Porenradienverteilung nach einer 140tägigen Lagerung bei 20 °C über Wasser (rechts)

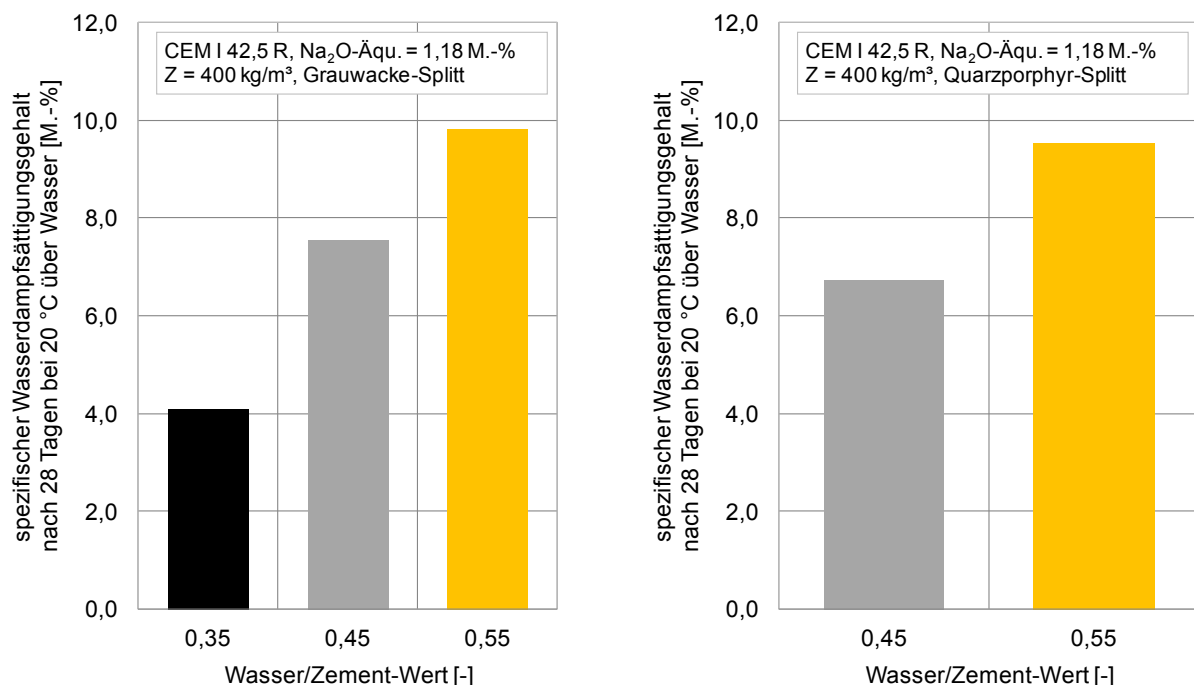


Abbildung A 14 Einfluss des w/z-Wertes von Beton auf den spezifischen Wasserdampfsättigungsgehalt bei einer relativen Luftfeuchte von 100 % am Beispiel der Betone mit Grauwacke-Splitt (links) und Quarzporphyr-Splitt (rechts)

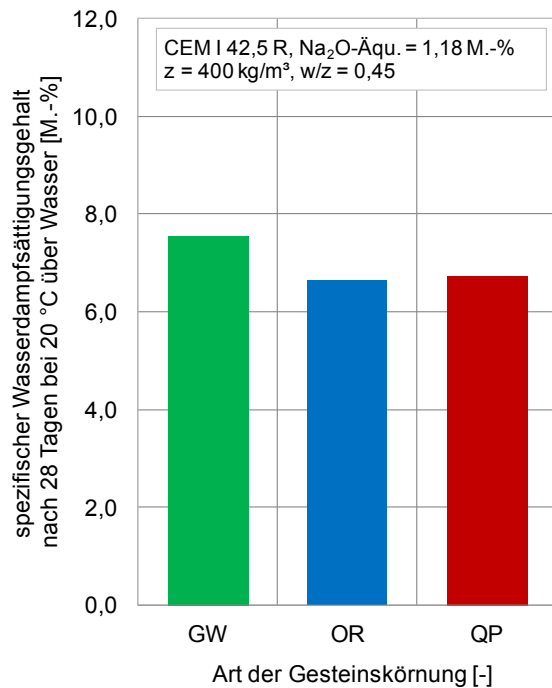


Abbildung A 15 Spezifische Wasserdampfsättigungsgehalt bei einer relativen Luftfeuchte von 100 % am Beispiel von Beton mit einem w/z-Wert von 0,45 bei variierenden Gesteinskörnungen (links)

➤ Verformungsverhalten Betonzylinder

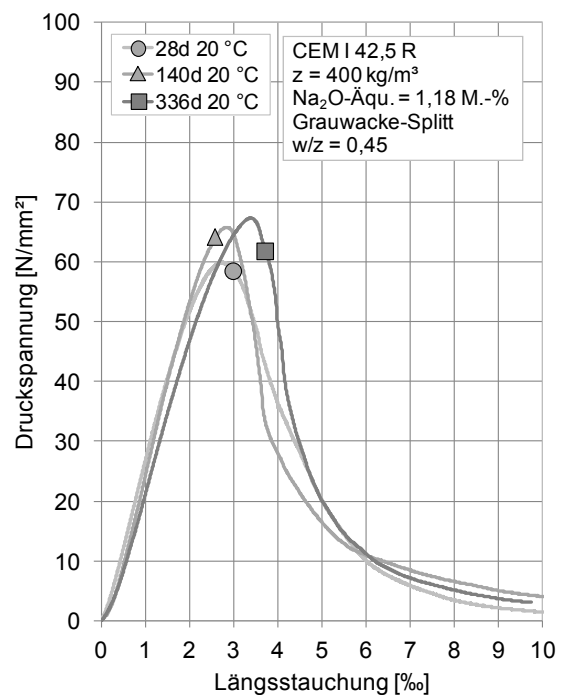
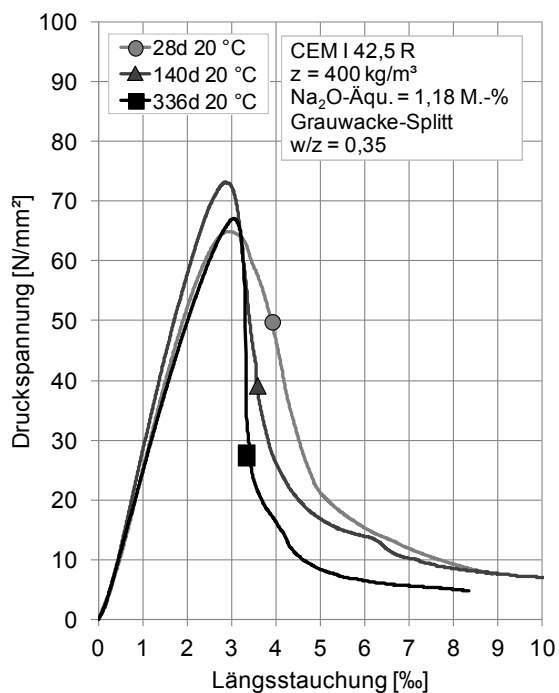


Abbildung A 16 zeitliche Entwicklung der Spannungs-Stauchungs-Linie von Beton mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,35 (links) und 0,45 (rechts) nach 28 Tagen Lagerung bei 20 °C über Wasser

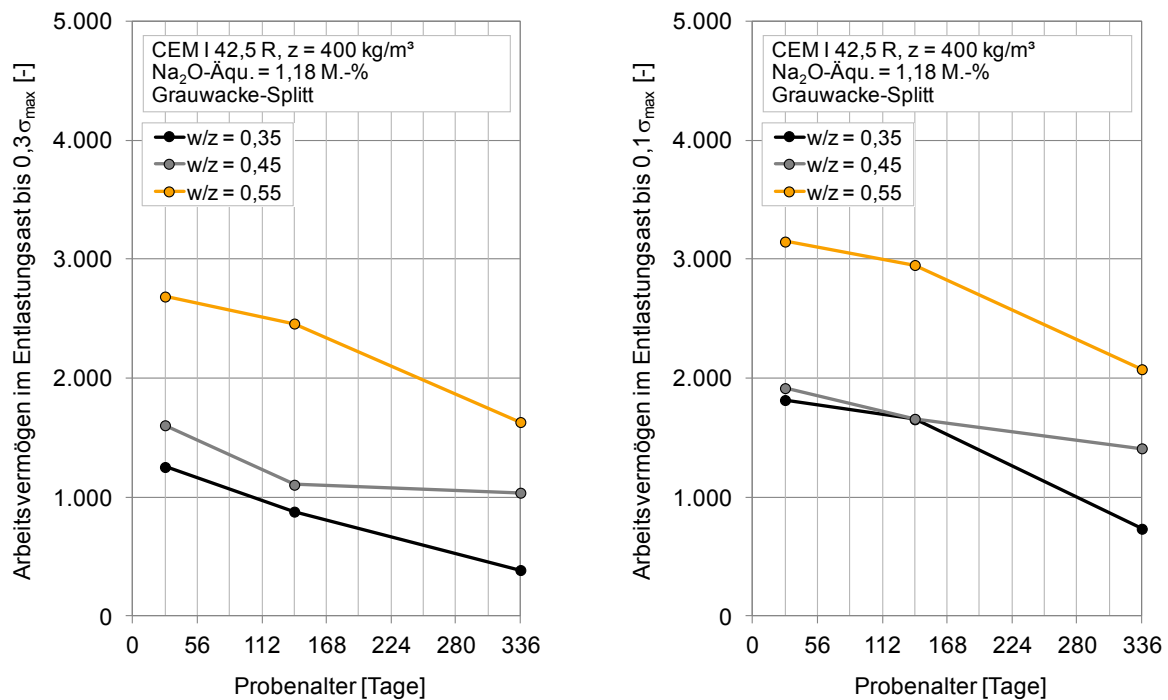


Abbildung A 17 zeitlicher Verlauf des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 30 % (links) und 10 % (rechts) der maximalen Druckspannung - von Beton mit Grauwacke-Splitt bei variierenden w/z-Werten

40 °C-Nebelkammerlagerung

- Masse, Dehnung (manuelle Messung) und dynamischer E-Modul (aus Eigenschwingzeitmessung) von Betonbalken (75 x 75 x 280 [mm]) und Betonzylindern (Ø 70 mm, L 280 mm)

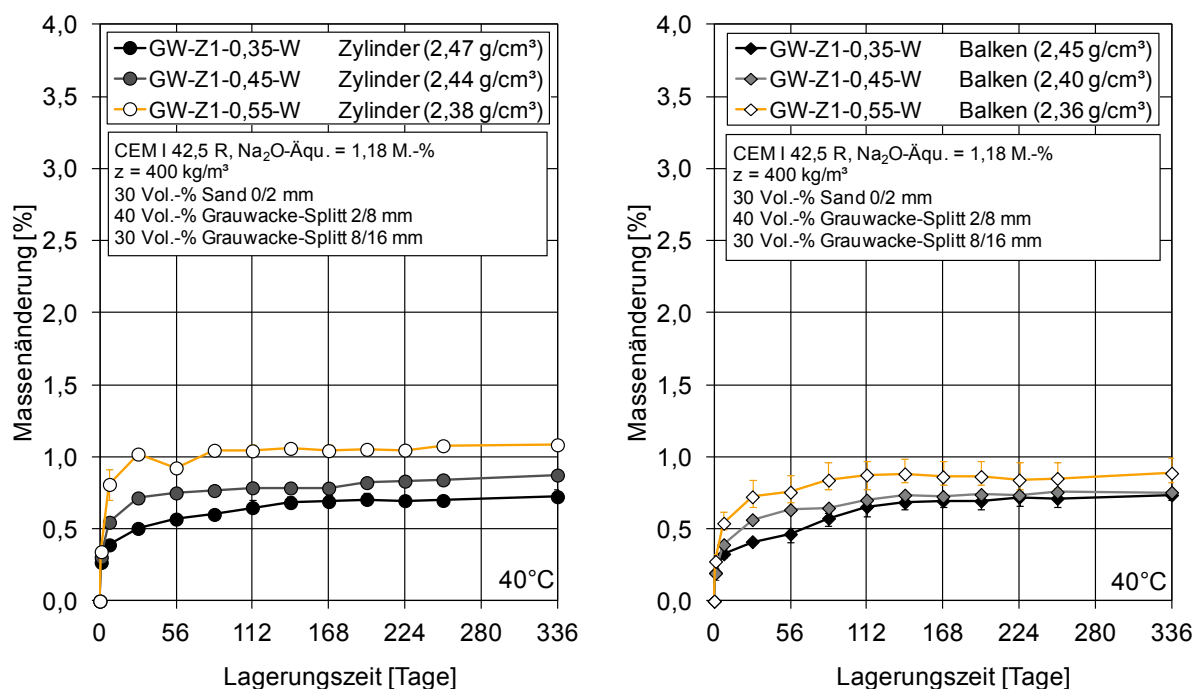


Abbildung A 18 Masse von Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm (links) und Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm (rechts) mit Grauwacke-Splitt in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

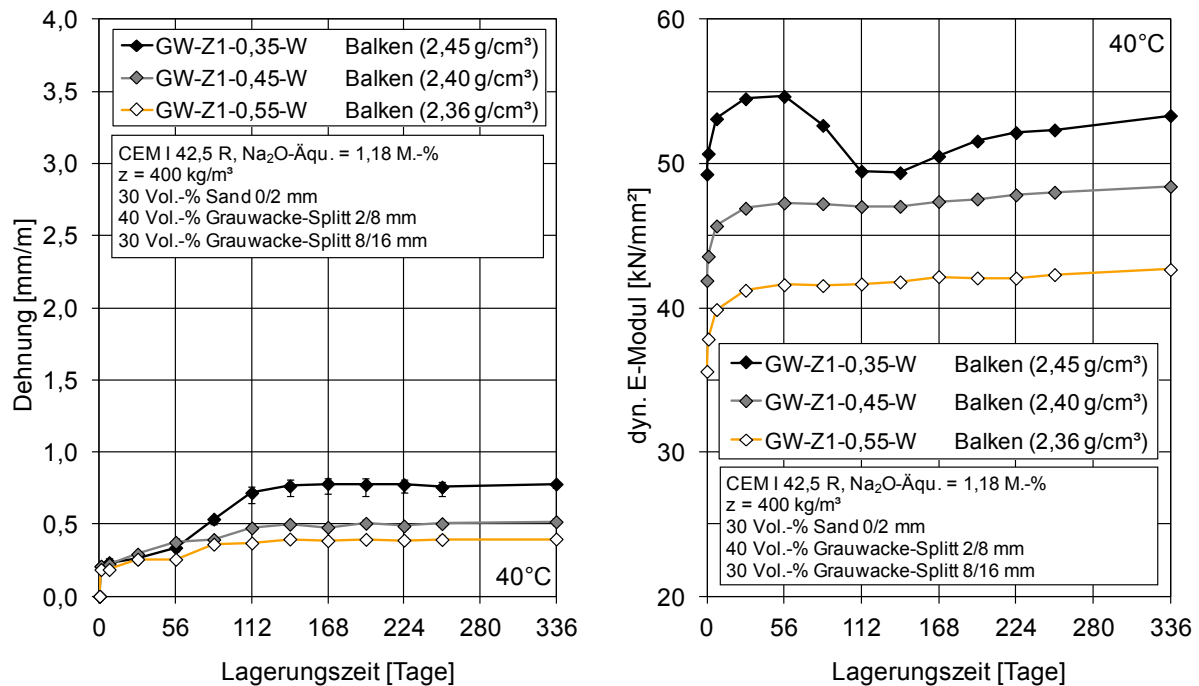


Abbildung A 19 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) von Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm mit Grauwacke-Splitt in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

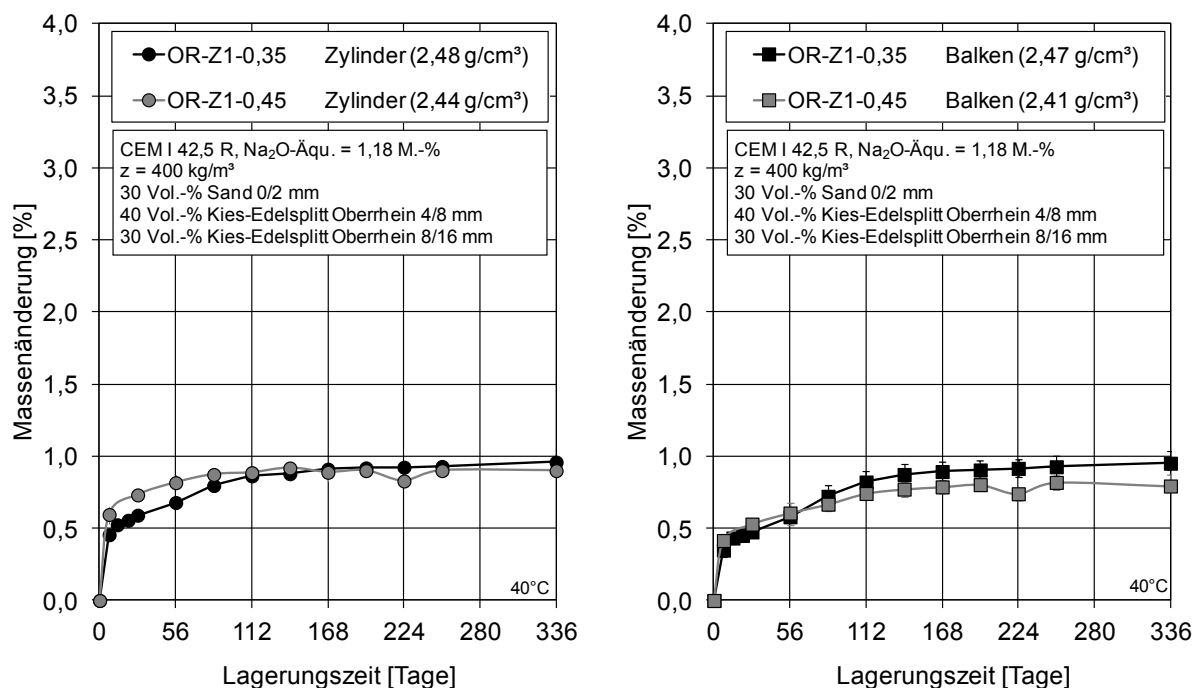


Abbildung A 20 Masse von Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm (links) und Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm (rechts) mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

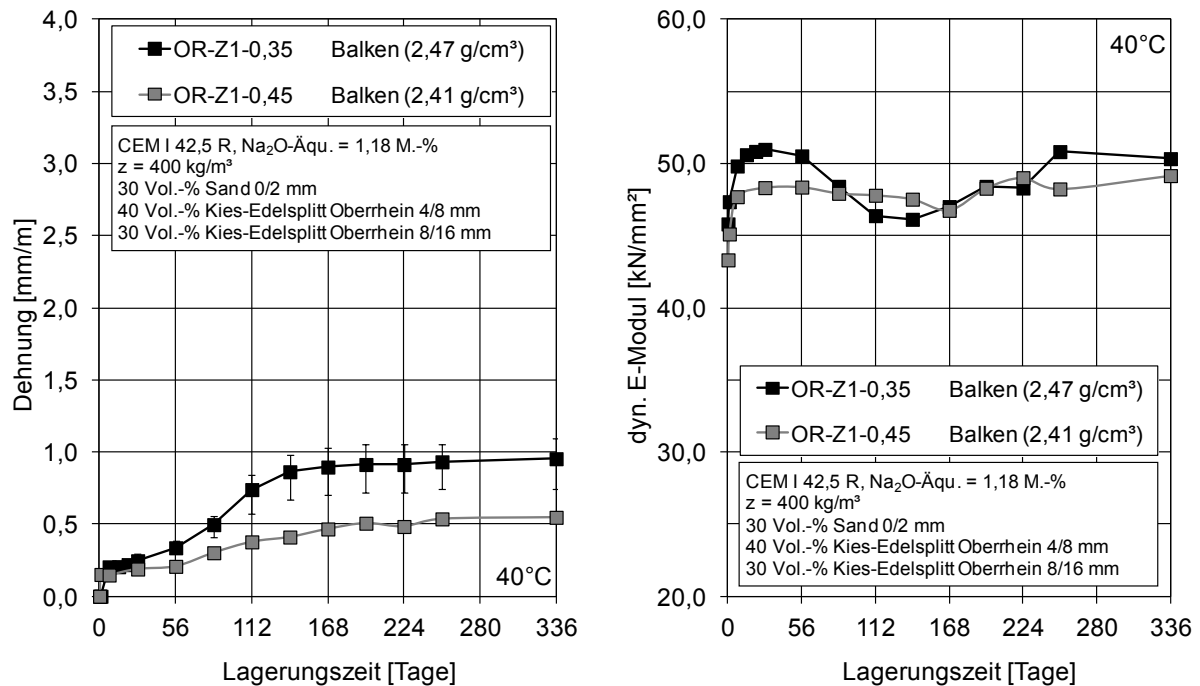


Abbildung A 21 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) von Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

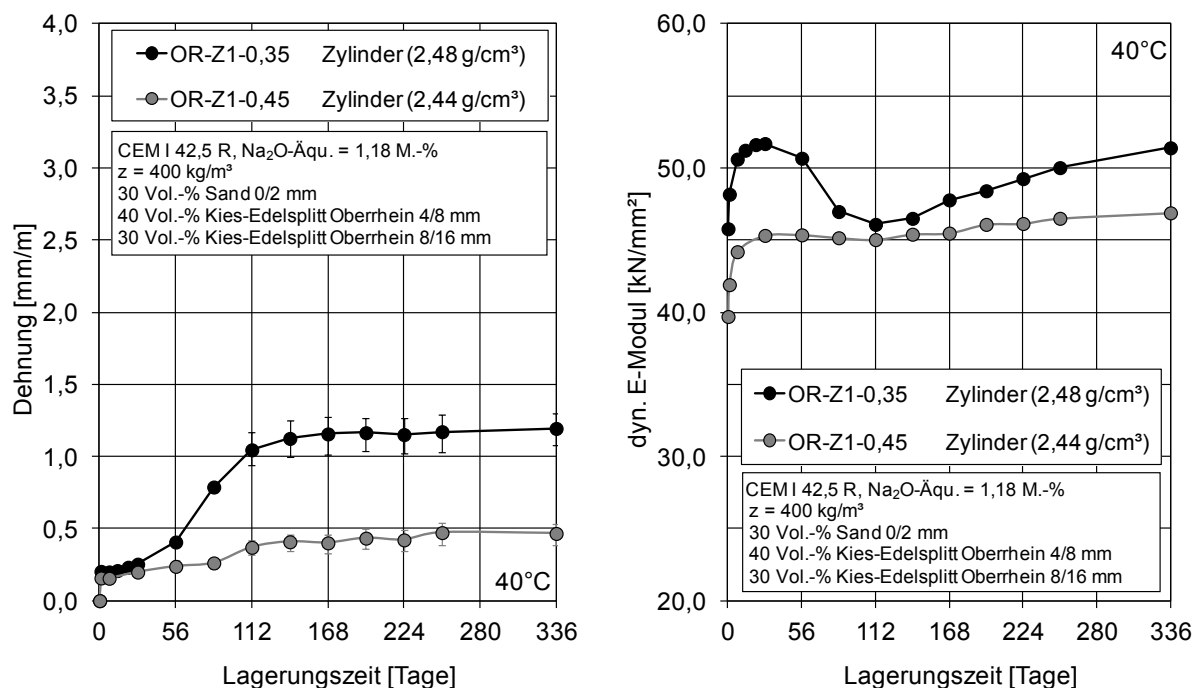


Abbildung A 22 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) der Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

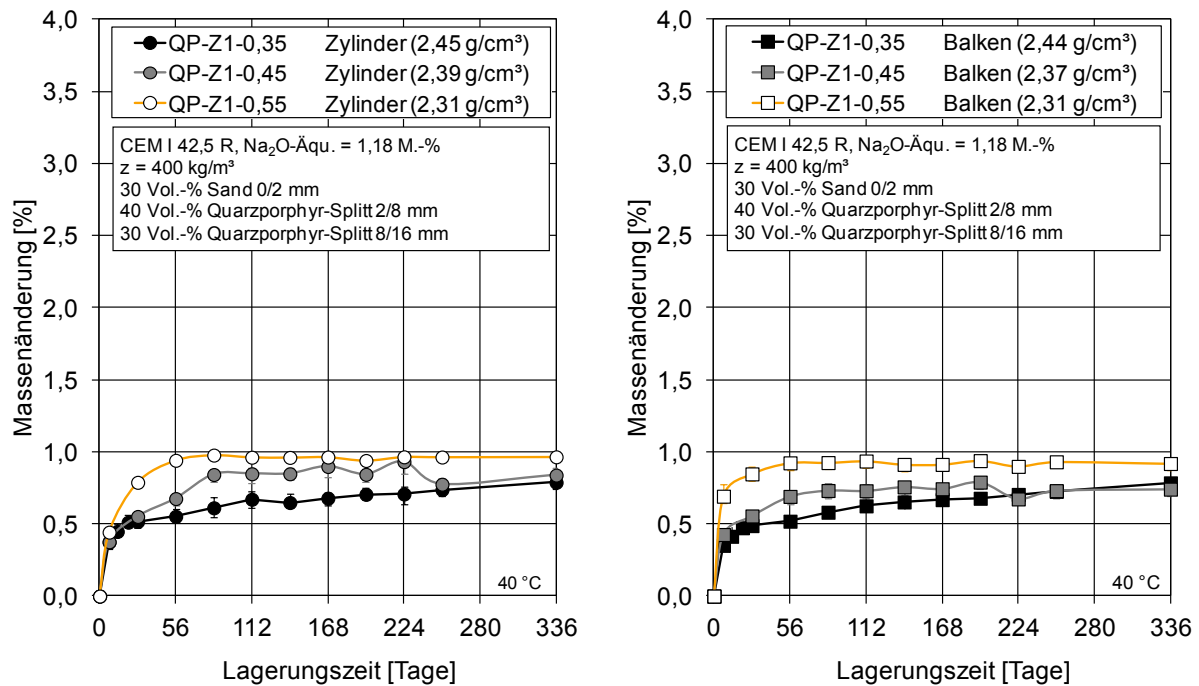


Abbildung A 23 Masse von Betonzyylinder Ø 70 mm, l = 280 mm (links) und Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm (rechts) mit Quarzporphyr-Splitt in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

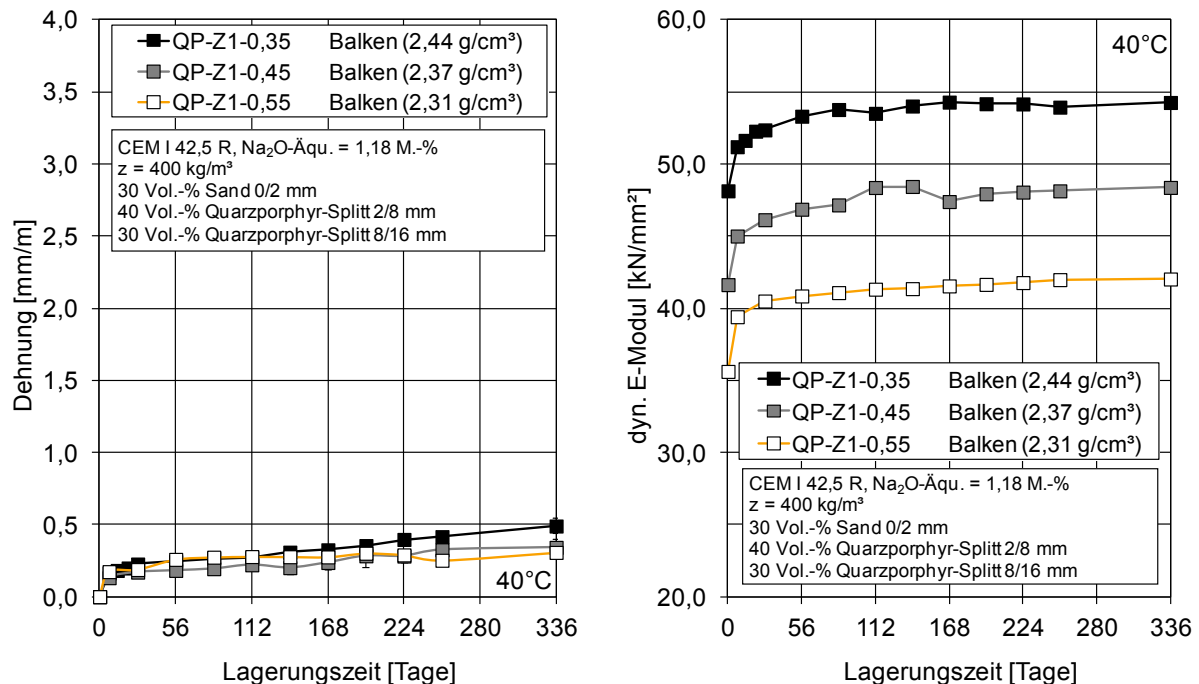


Abbildung A 24 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) von Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm mit Quarzporphyr-Splitt in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

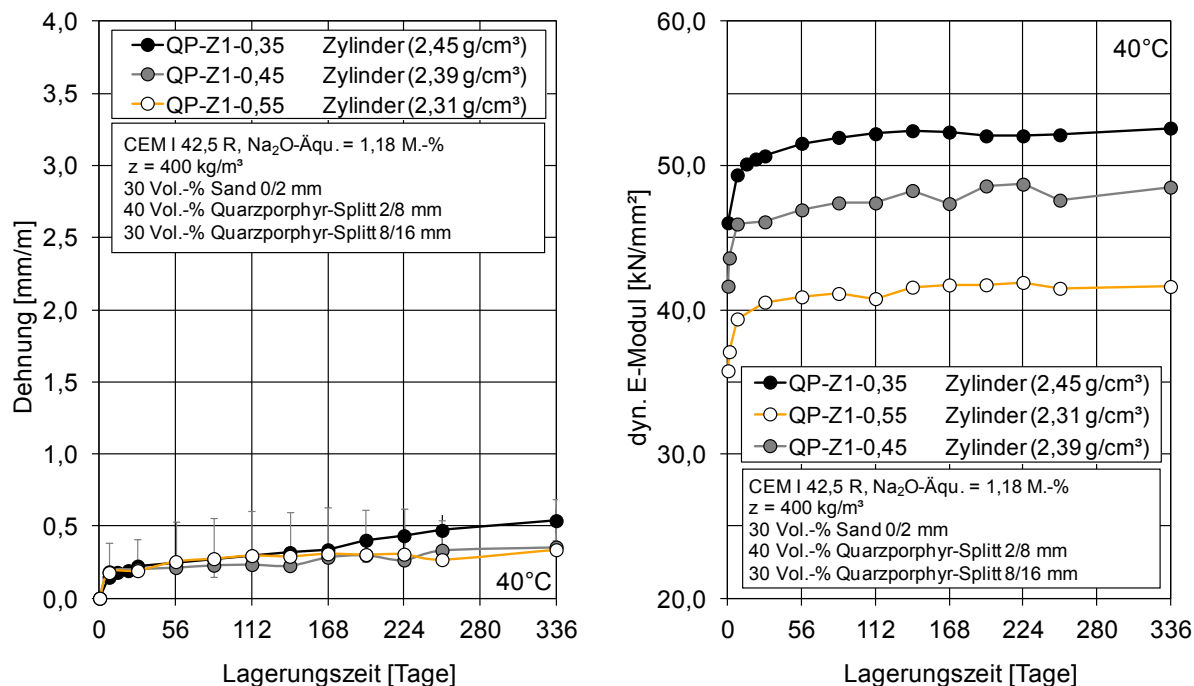


Abbildung A 25 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) von Betonzylinder $\varnothing 70 \text{ mm}$, $l = 280 \text{ mm}$ mit Quarzporphyr-Splitt in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

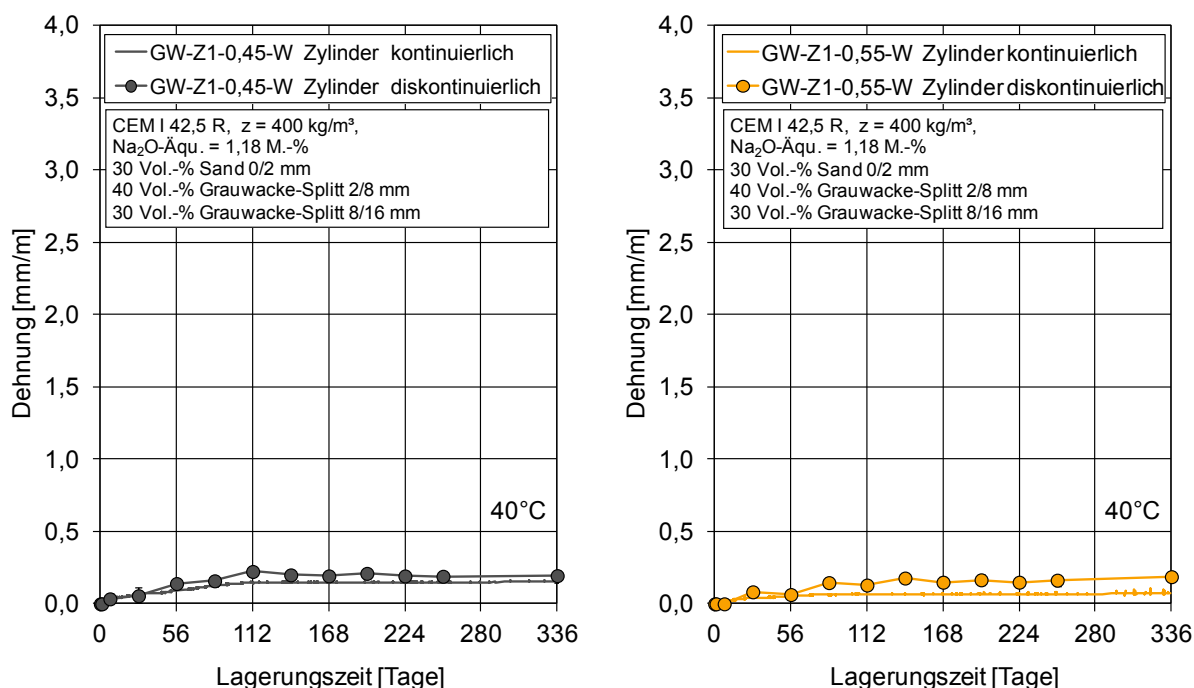


Abbildung A 26 Gegenüberstellung der Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Dehnungsmessung der Betonzylinder $\varnothing 70 \text{ mm}$, $l = 280 \text{ mm}$ mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 (links) und 0,55 (rechts) bei 40 °C-Nebelkammerlagerung

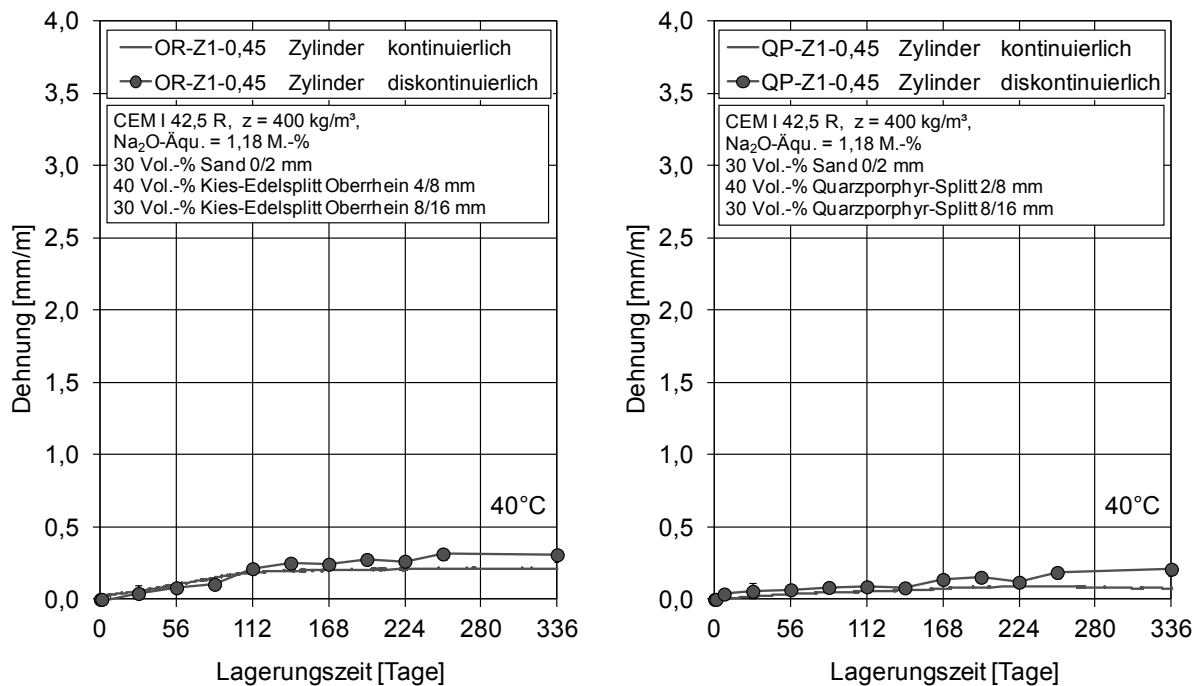


Abbildung A 27 Gegenüberstellung der Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Dehnungsmessung der Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein (links) und Quarzporphyr-Splitt (rechts) bei einem w/z-Wert von 0,45 bei 40 °C-Nebelkammerlagerung

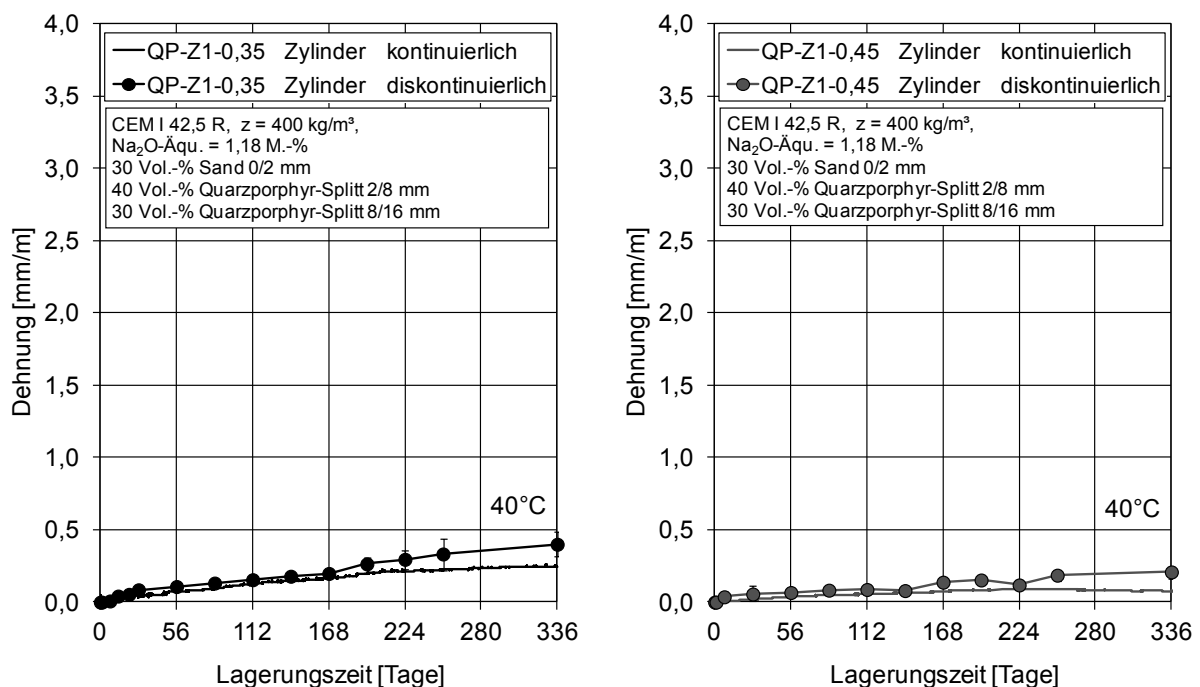


Abbildung A 28 Gegenüberstellung der Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Dehnungsmessung der Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Quarzporphyr-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,35 (links) und 0,55 (rechts) bei 40 °C-Nebelkammerlagerung

- Ergebnisse mittels μ -3D-CT zur räumlichen und zeitlichen Visualisierung der Risse, etc.

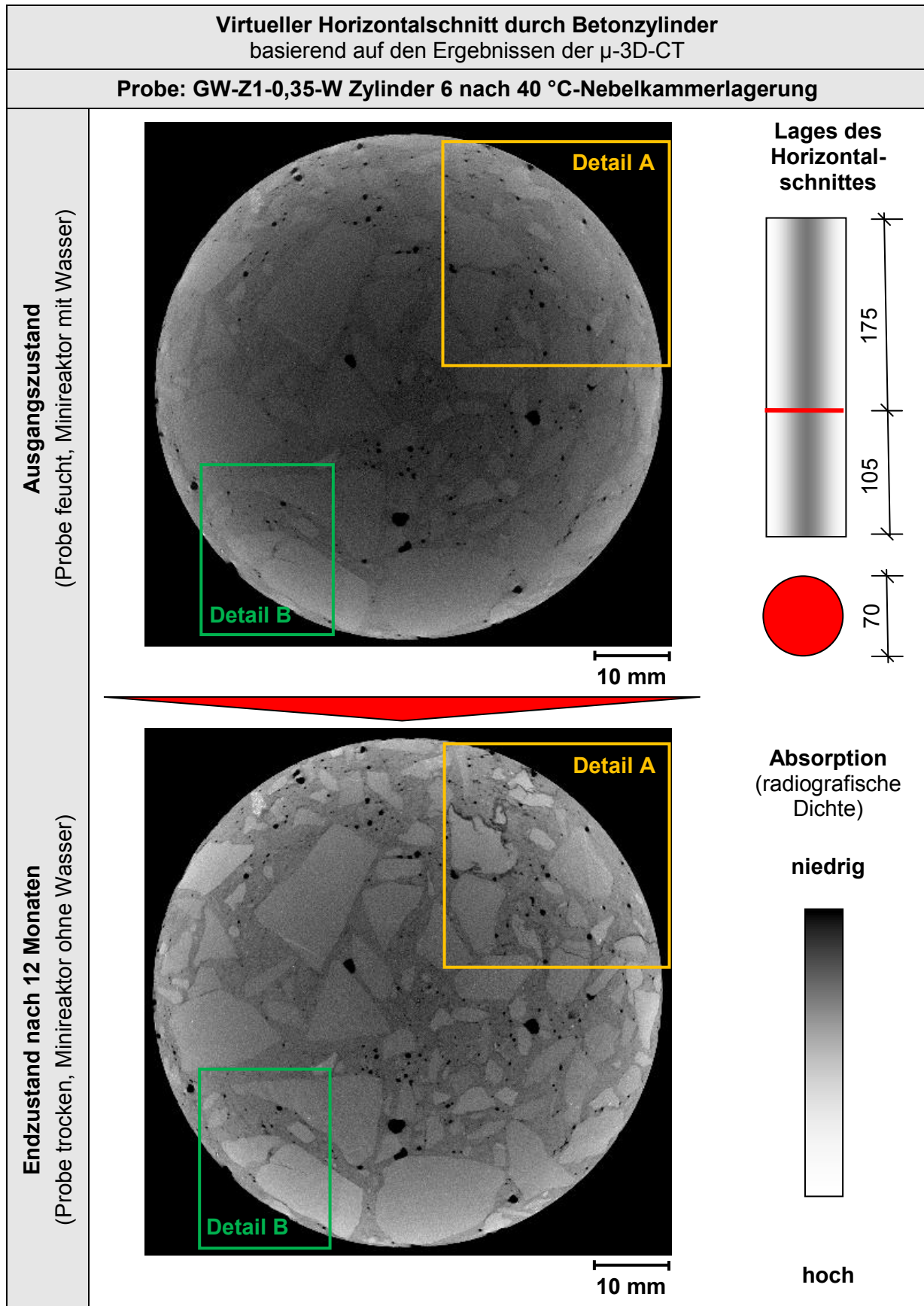


Abbildung A 29 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert = 0,35 vor und nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit μ -3D-CT

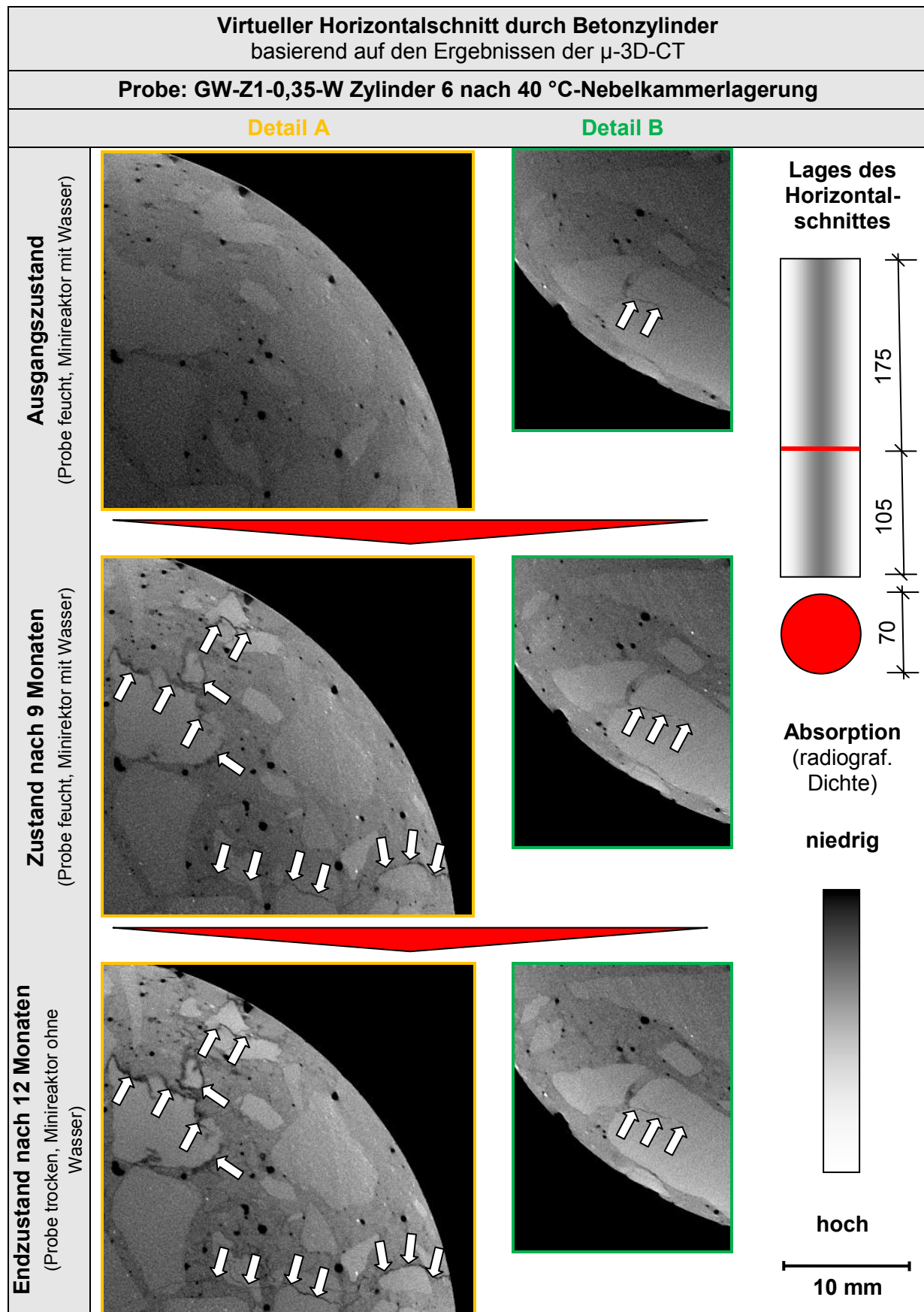


Abbildung A 30 Visualisierung des AKR-Fortschritts anhand des inneren Gefügestandes eines Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert = 0,35 vor, während und nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit μ -3D-CT

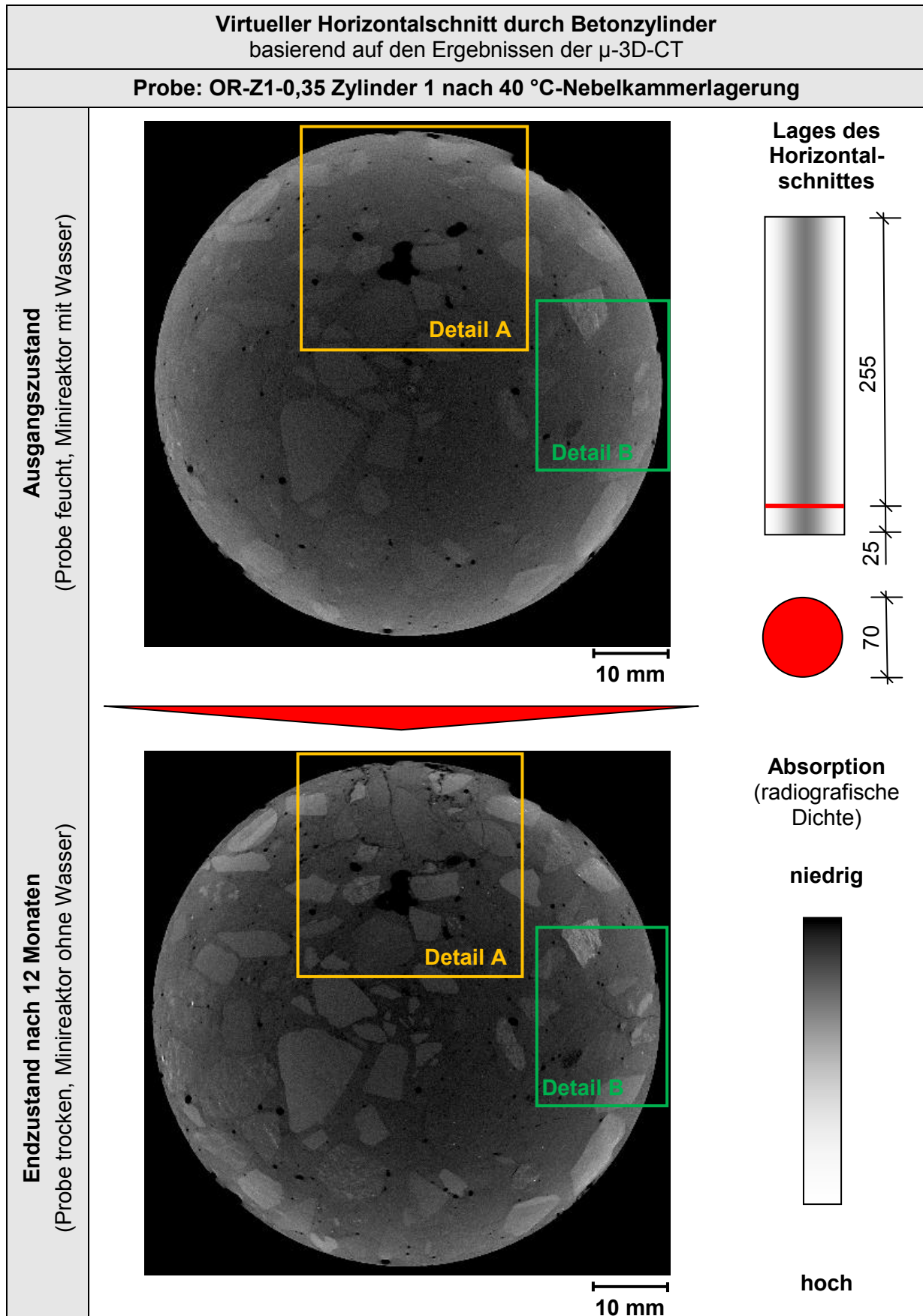


Abbildung A 31 Visualisierung des inneren Gefügezustandes eines Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein und w/z-Wert = 0,35 vor und nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit μ -3D-CT

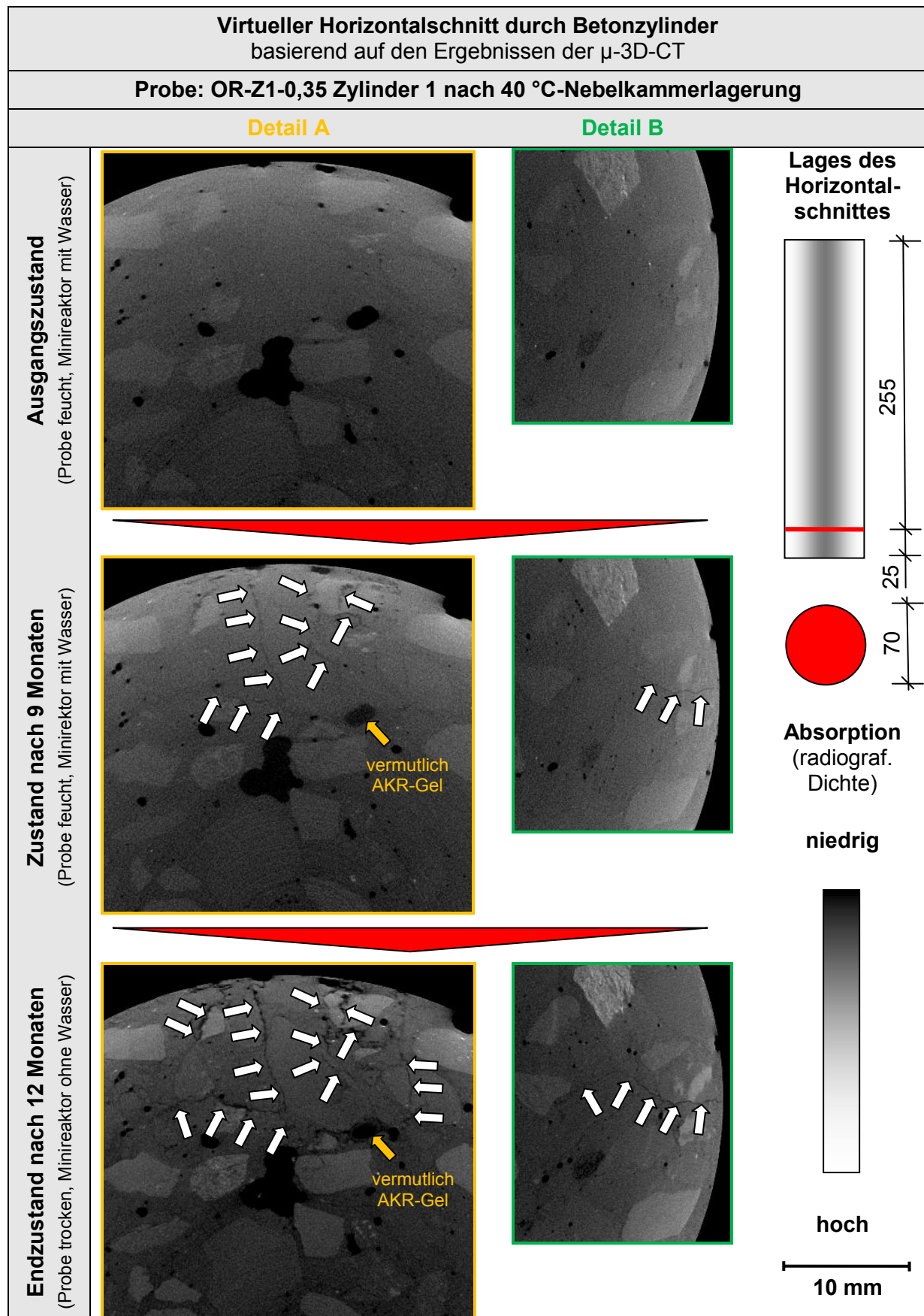
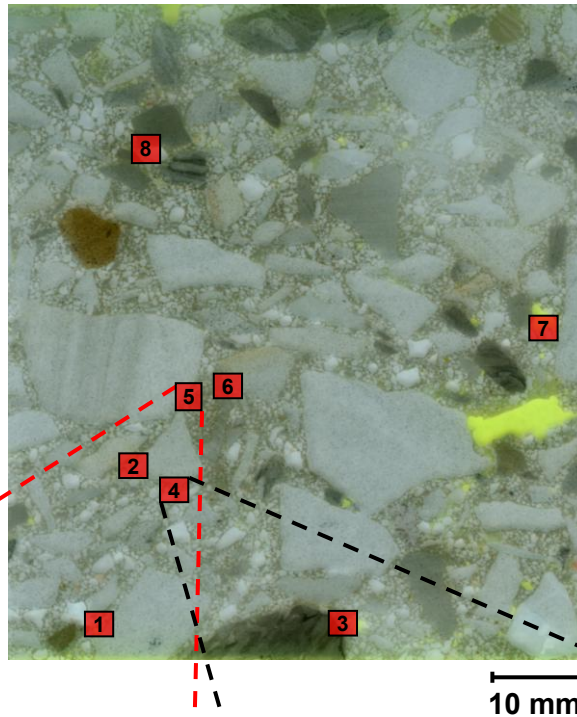
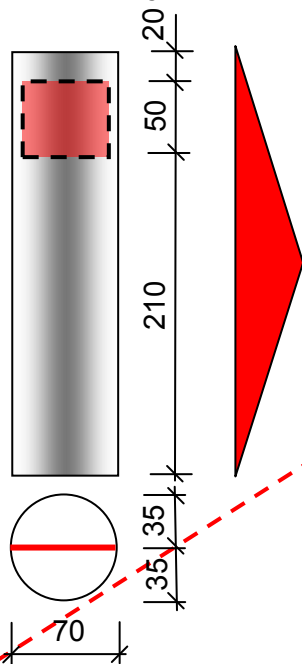


Abbildung A 32 Visualisierung des AKR-Fortschritts anhand des inneren Gefügestandes eines Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Kies-Edelsplitt v. Oberrhein u. w/z-Wert = 0,35 vor, während, nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit μ -3D-CT

➤ Mikroskopische Ergebnisse

Probe: GW-Z1-0,35-W Zylinder 4 nach 40 °C-Nebelkammerlagerung – Detail 4 und 5

Lage des Vertikalschnitts durch Betonzylinder

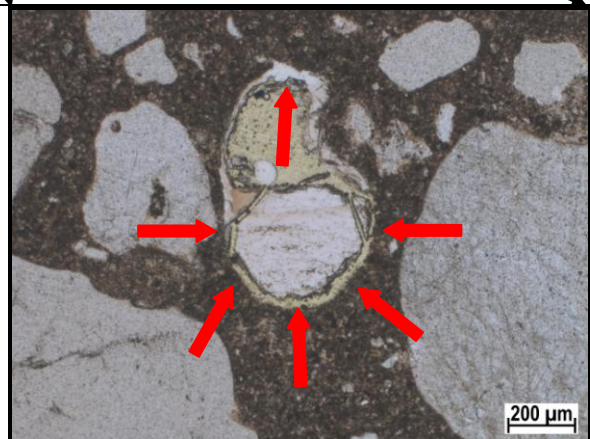


Scan Dünnschliff

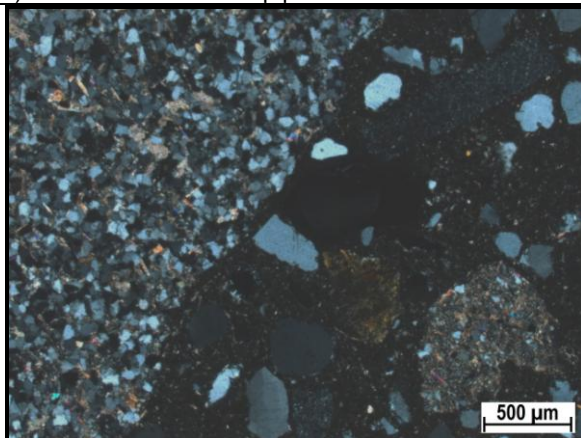
x Indizien für AKR-Gel
x Indizien für Ettringit



5) Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht



4) Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht



5) Polarisationsmikroskop gekreuzte Polarisatoren

Bewertung

AKR	++
Ettringitbildung	-

Legende:

- kein Merkmal erkennbar
- + ganz vereinzelt Merkmale erkennbar
- ++ verstärkt Merkmale erkennbar
- +++ häufig deutliche Merkmale

Indikationen

- Gel in Pore ➔
- Gel in Riss ➞
- nadelige Kristalle (vermutl. Ettringit) ➔

Abbildung A 33 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt eines kontinuierlich gelagerten Zylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt + w/z = 0,35; Detail 4/5: Poren halb bzw. ganz mit AKR-Gel gefüllt

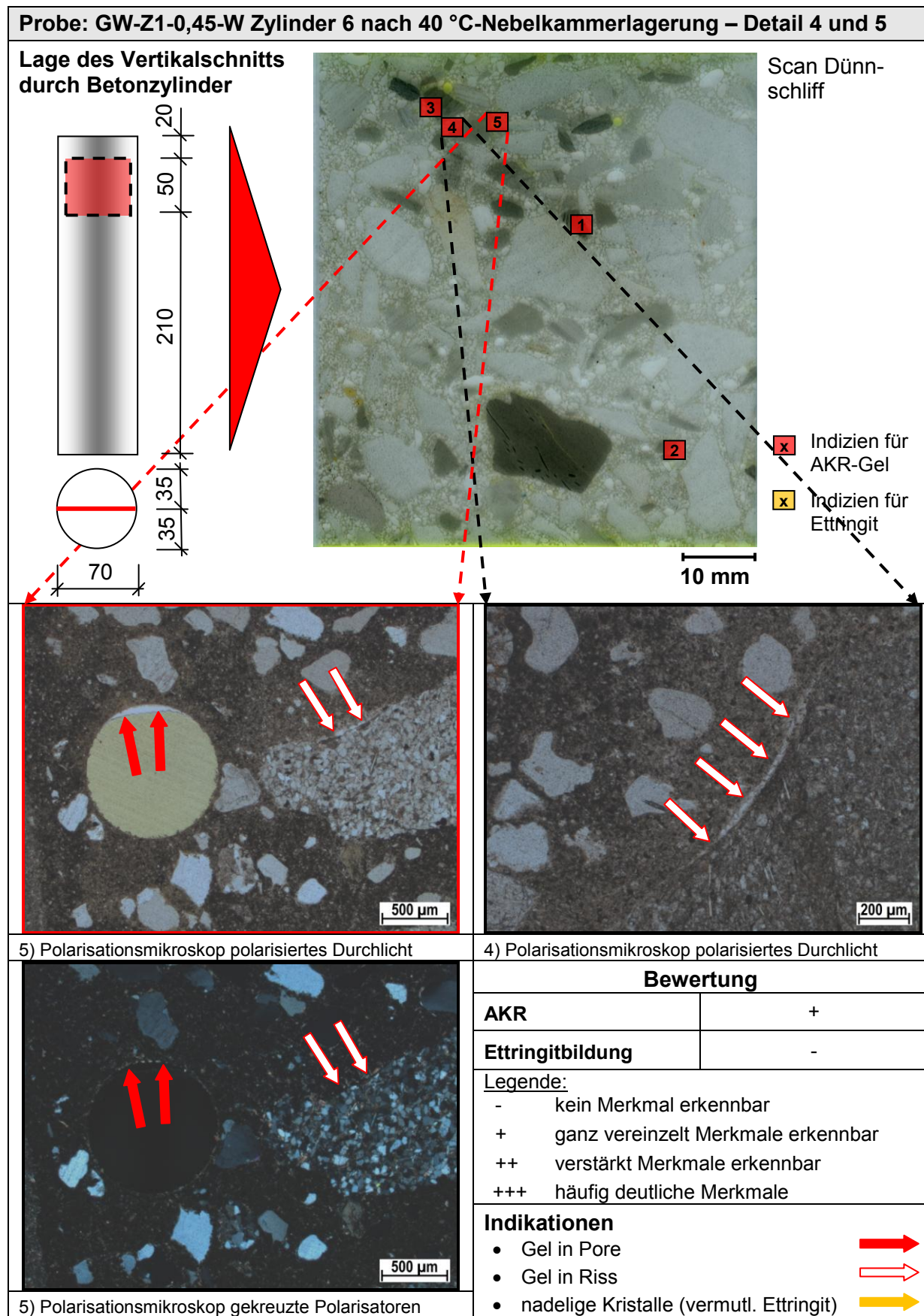


Abbildung A 34 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt eines kontinuierlich gelagerten Zylinder (Ø 70 mm, L 280 mm) nach 40 °C-Nebelkammerlagerung; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45; Detail 5 und 6: Riss in ITZ mit AKR-Gel gefüllt und leichter AKR-Beleg auf Porenwandung

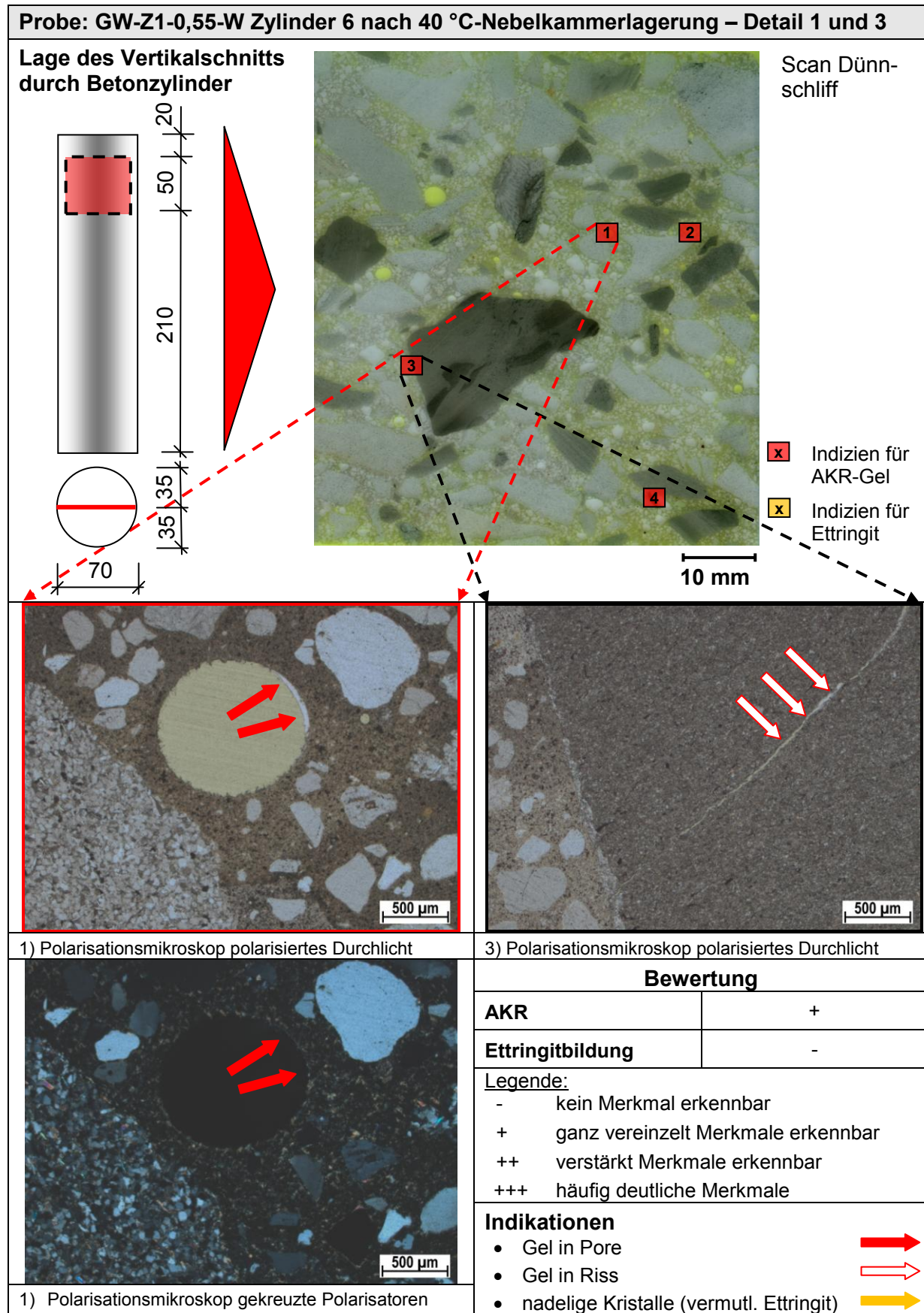


Abbildung A 35 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt eines kontinuierlich gelagerten Zylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) nach 40 °C-Nebelkammerlagerung; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55; Detail 1: Porenwandung leicht mit AKR-Gel belegt; Detail 3: AKR-Gel in Riss

➤ Porosität Betonzylinder

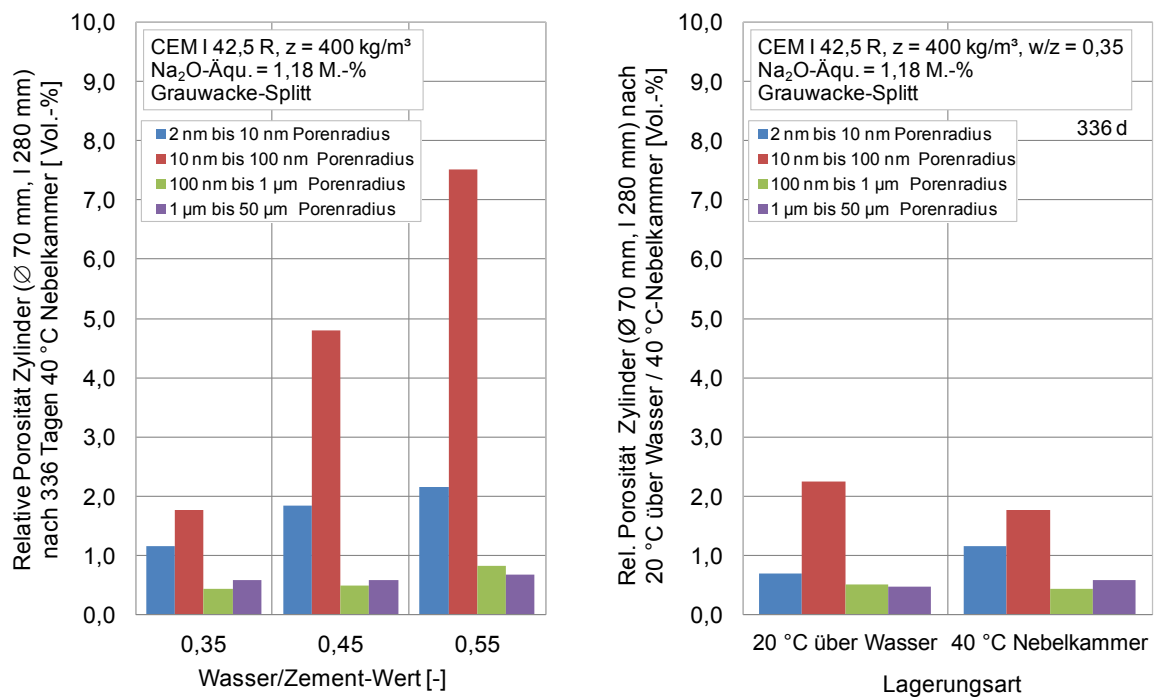


Abbildung A 36 Porenradienverteilung mittels Hg-Porosimetrie an Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach 40 °C-Nebelkammerlagerung (links); bei einem w/z-Wert von 0,35 nach 20 °C über Wasser und 40 °C-Nebelkammer (rechts)

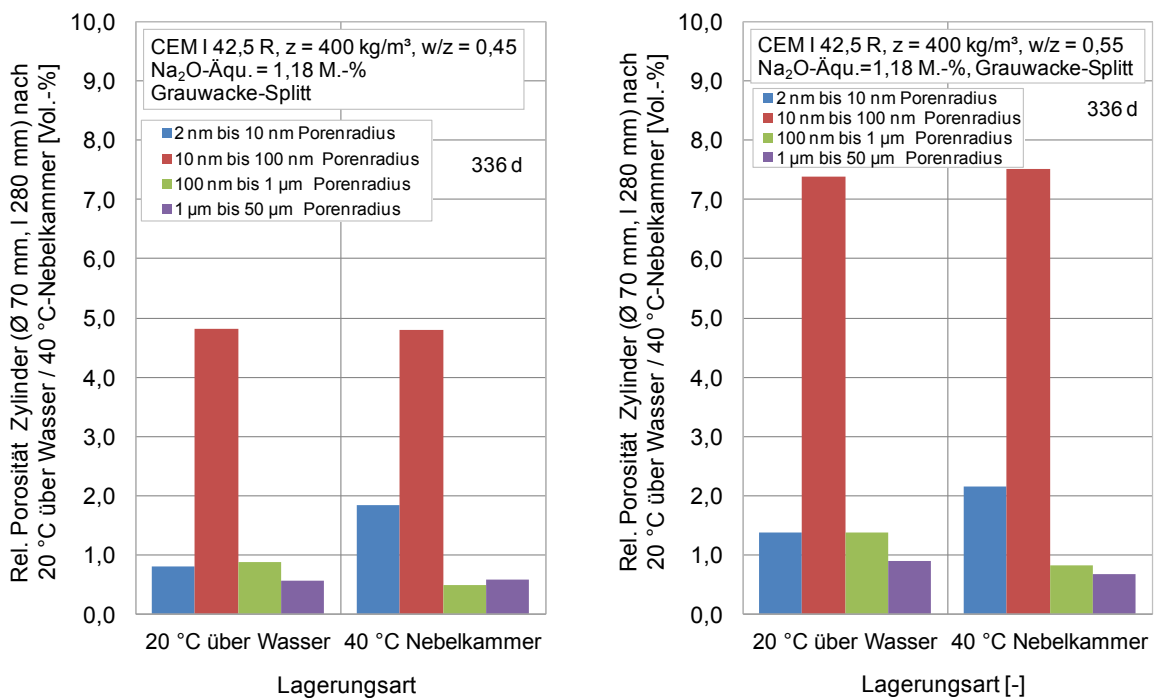


Abbildung A 37 Porenradienverteilung mittels Hg-Porosimetrie an Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 (links) und 0,55 (rechts) nach 20 °C über Wasser und 40 °C-Nebelkammer (rechts)

► Verformungsverhalten Betonzylinder

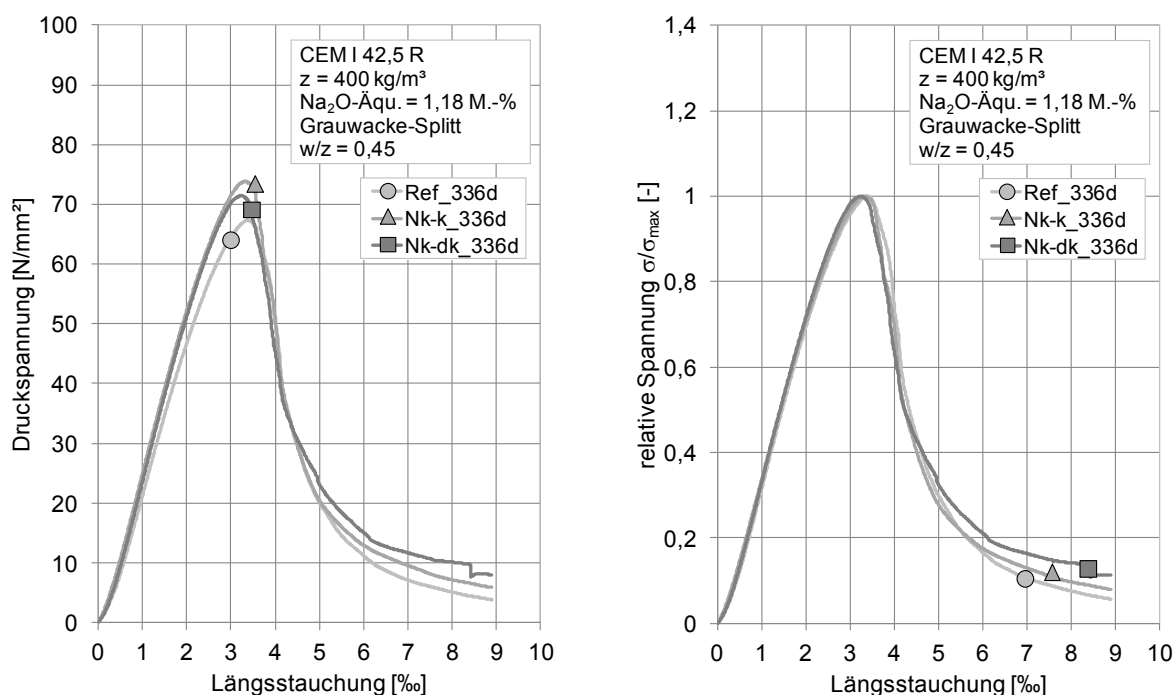


Abbildung A 38 Einfluss der kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45

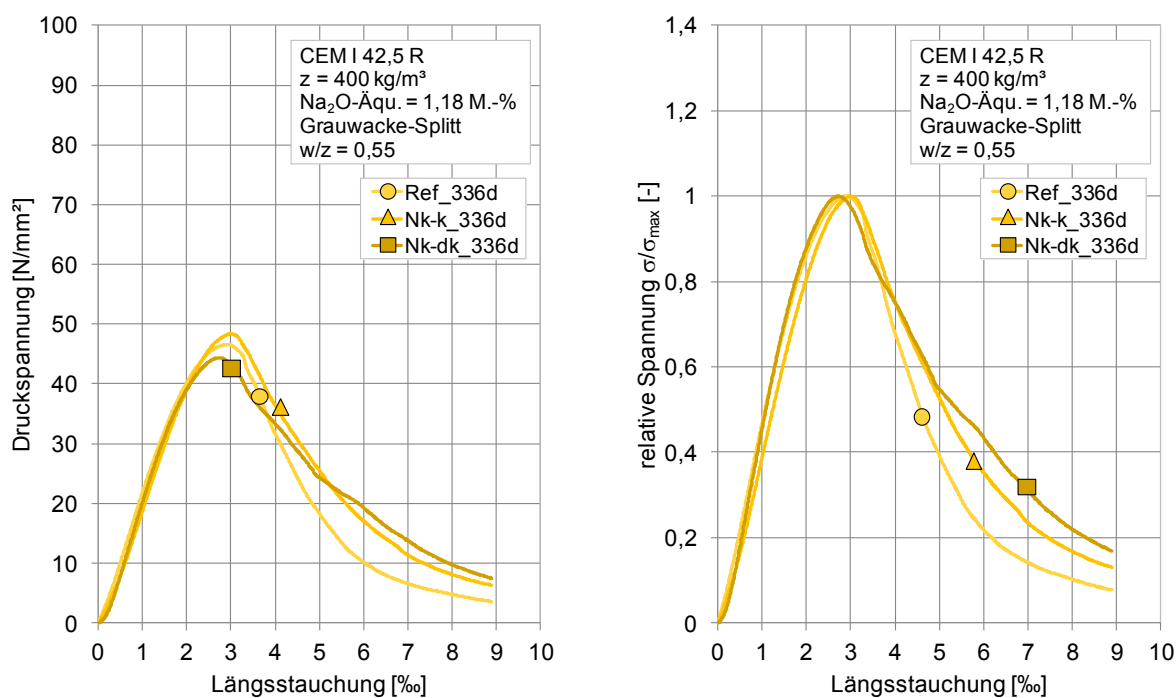


Abbildung A 39 Einfluss der kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,55

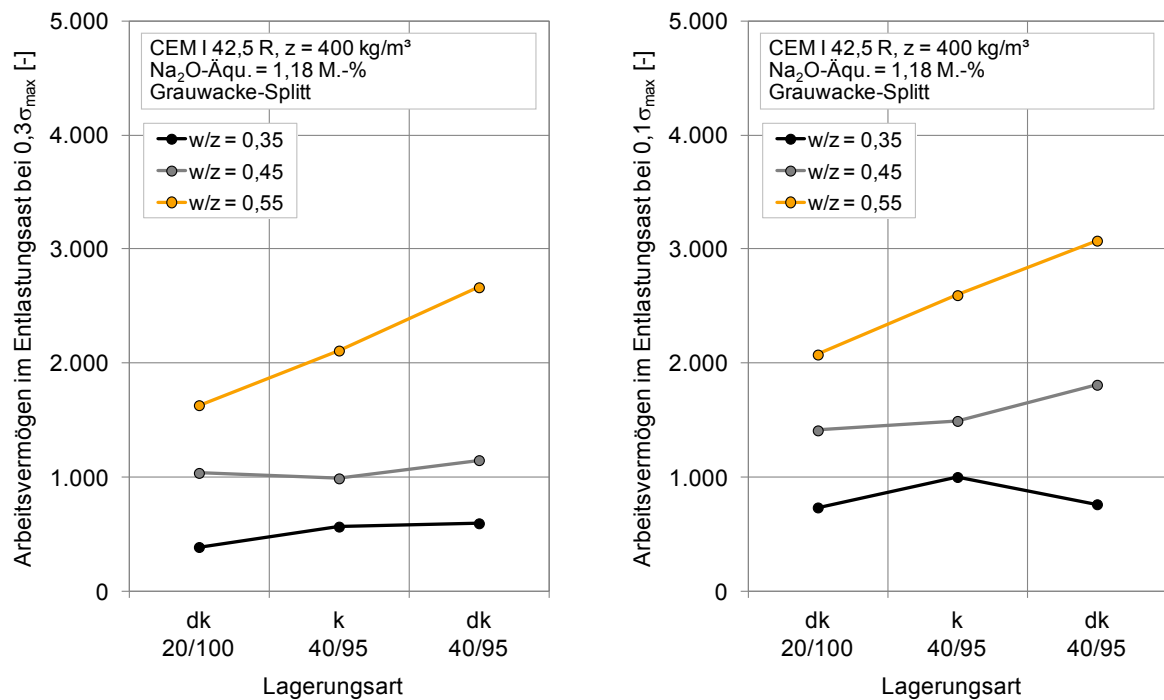


Abbildung A 40 Vergleich von Referenz- und 40 °C-Nebelkammerlagerung hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 30 % (links) und 10 % (rechts) der maximalen Druckspannung - von Beton mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert im Alter von 336 Tagen

► Verhalten Betonwürfel ($300 \times 300 \times 300 \text{ mm}^3$)

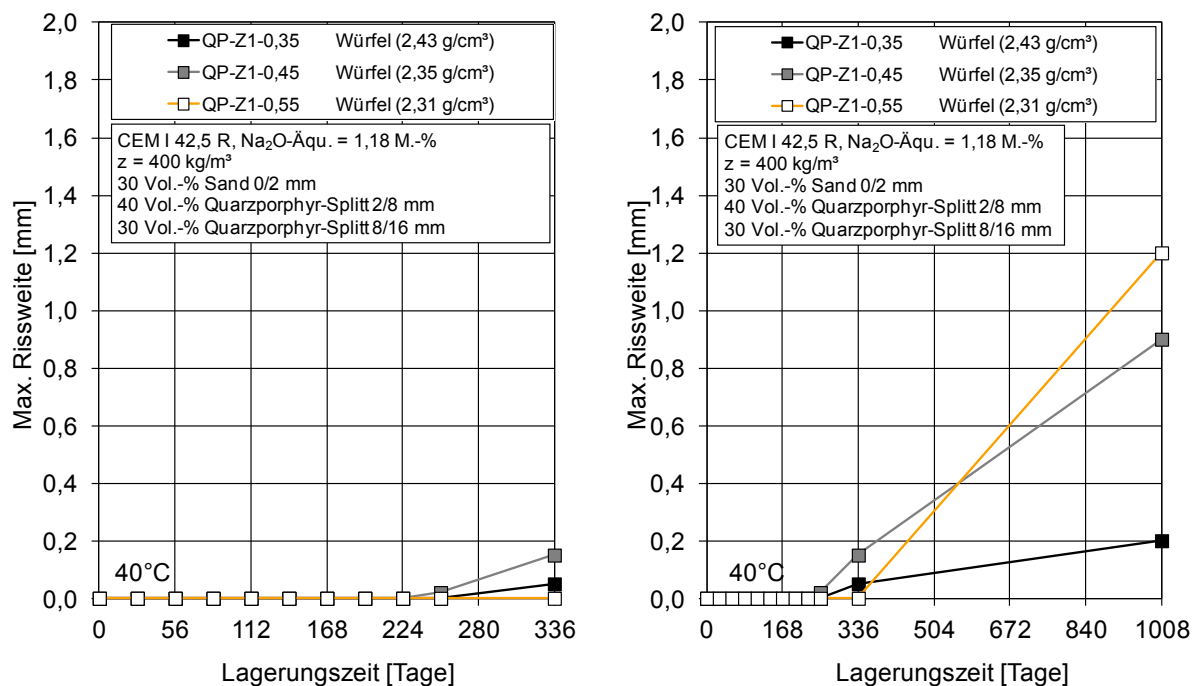


Abbildung A 41 Maximale Rissweite am 300 mm^3 -Betonwürfel mit Quarzporphyr-Splitt (links) bis 336 Tage (links) und 3 Jahre (rechts) Nebelkammerlagerung bei 40 °C

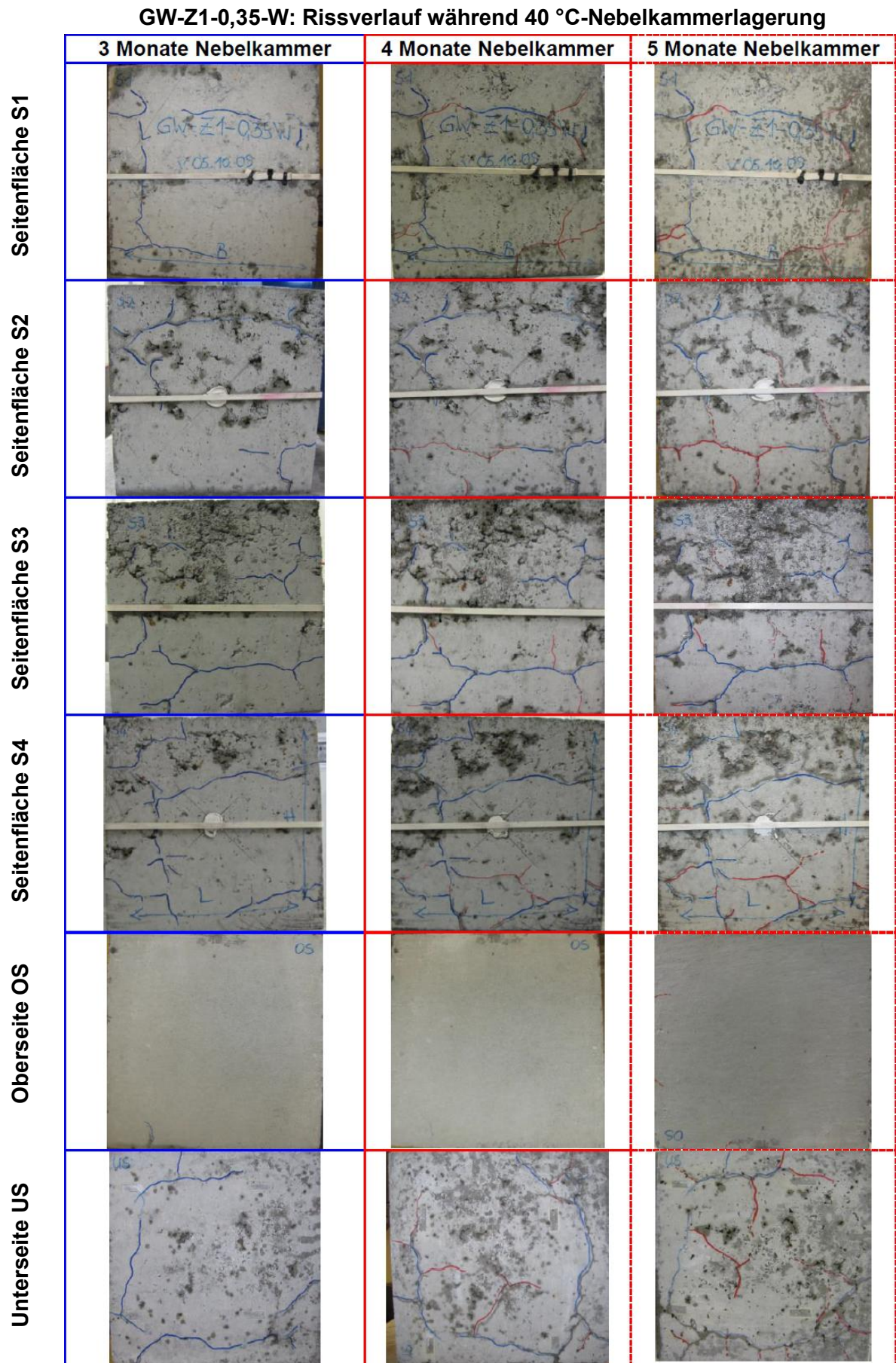


Abbildung A 42 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,35 während 3, 4 und 5 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

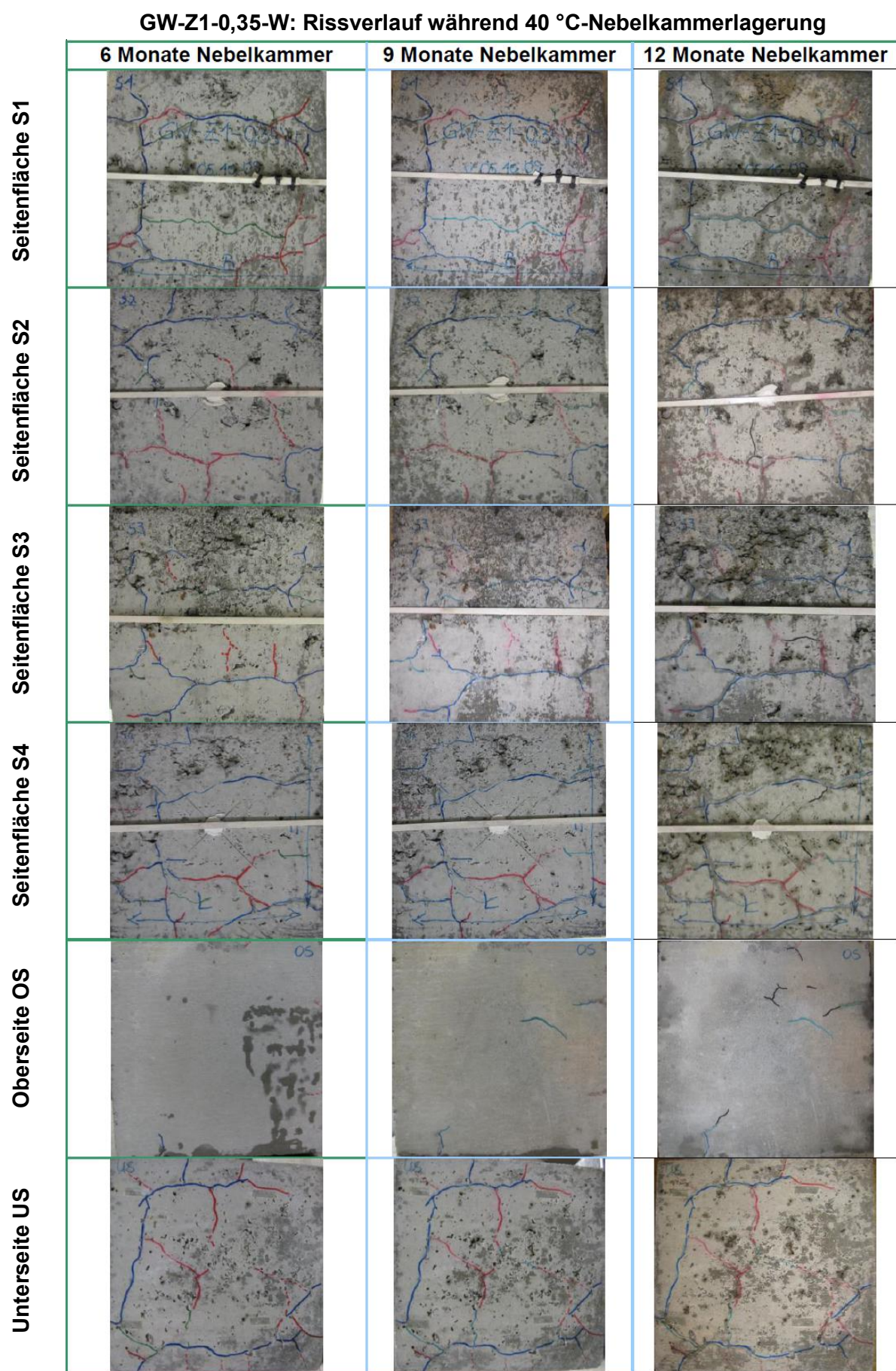
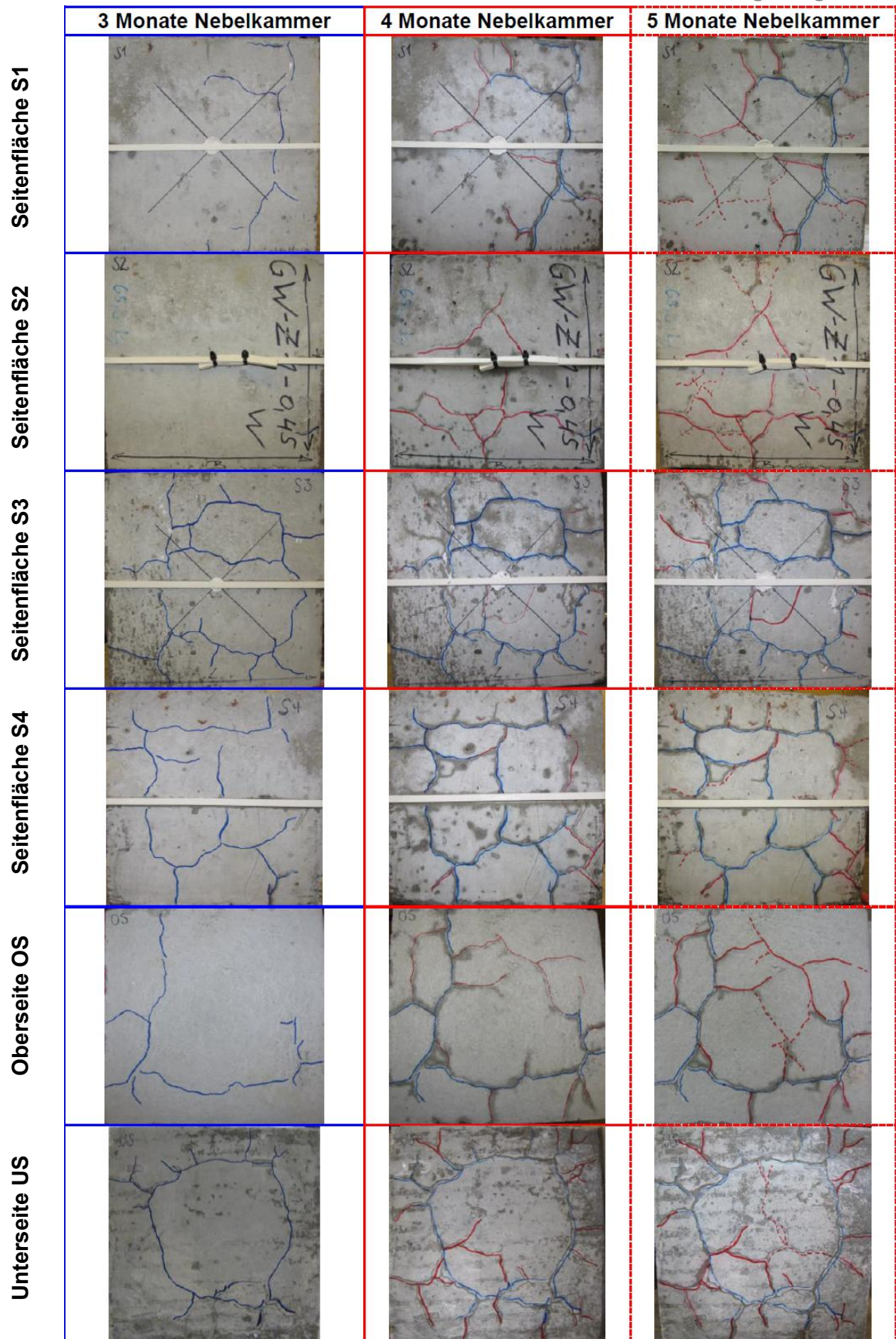


Abbildung A 43 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,35 während 6, 9 und 12 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

GW-Z1-0,45-W: Rissverlauf während 40 °C-Nebelkammerlagerung

Abbildung A 44 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 während 3, 4 und 5 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

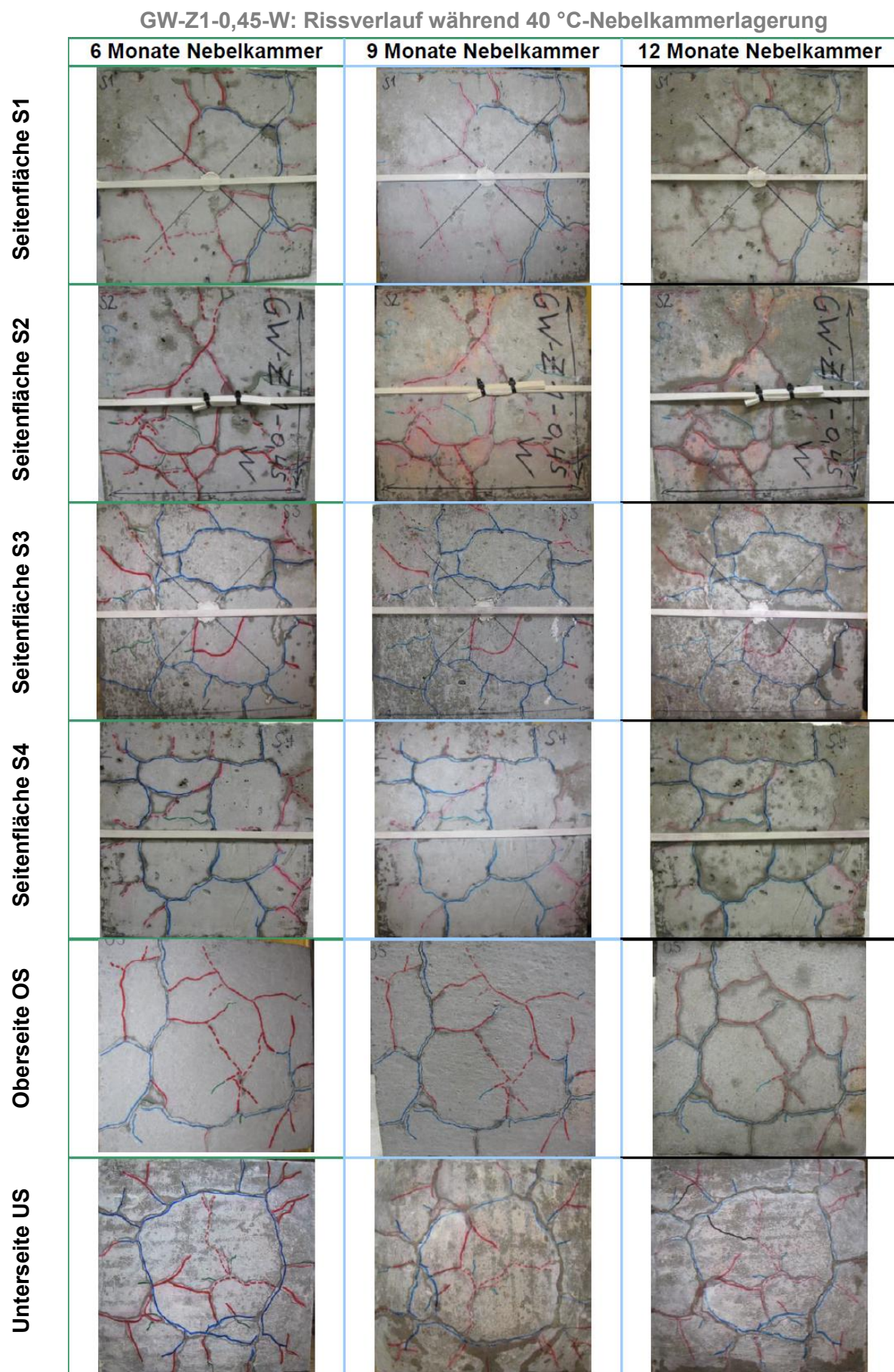


Abbildung A 45 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 während 6, 9 und 12 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

GW-Z1-0,55-W: Rissverlauf während 40 °C-Nebelkammerlagerung

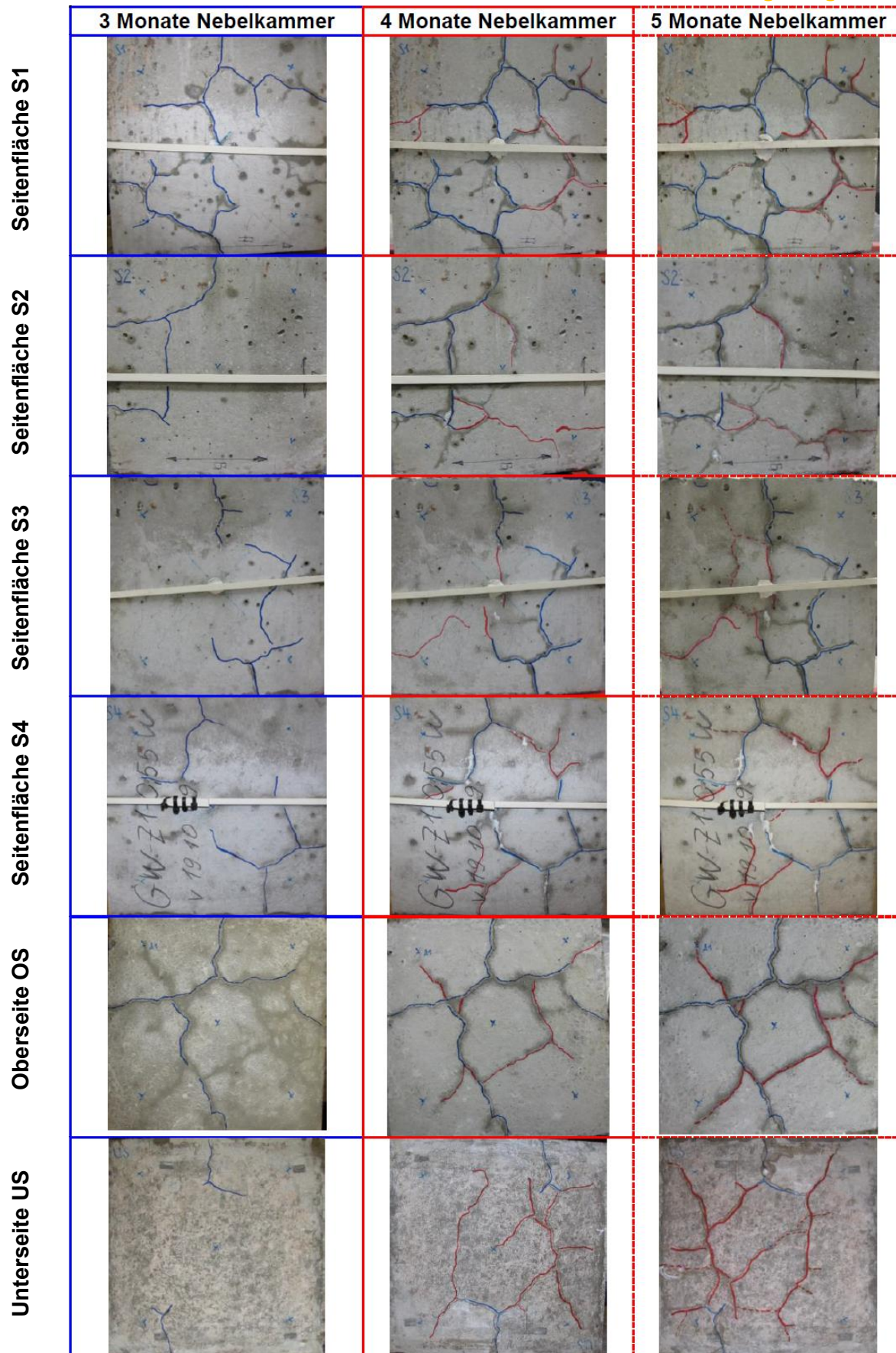


Abbildung A 46 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,55 während 3, 4 und 5 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

GW-Z1-0,55-W: Rissverlauf während 40 °C-Nebelkammerlagerung

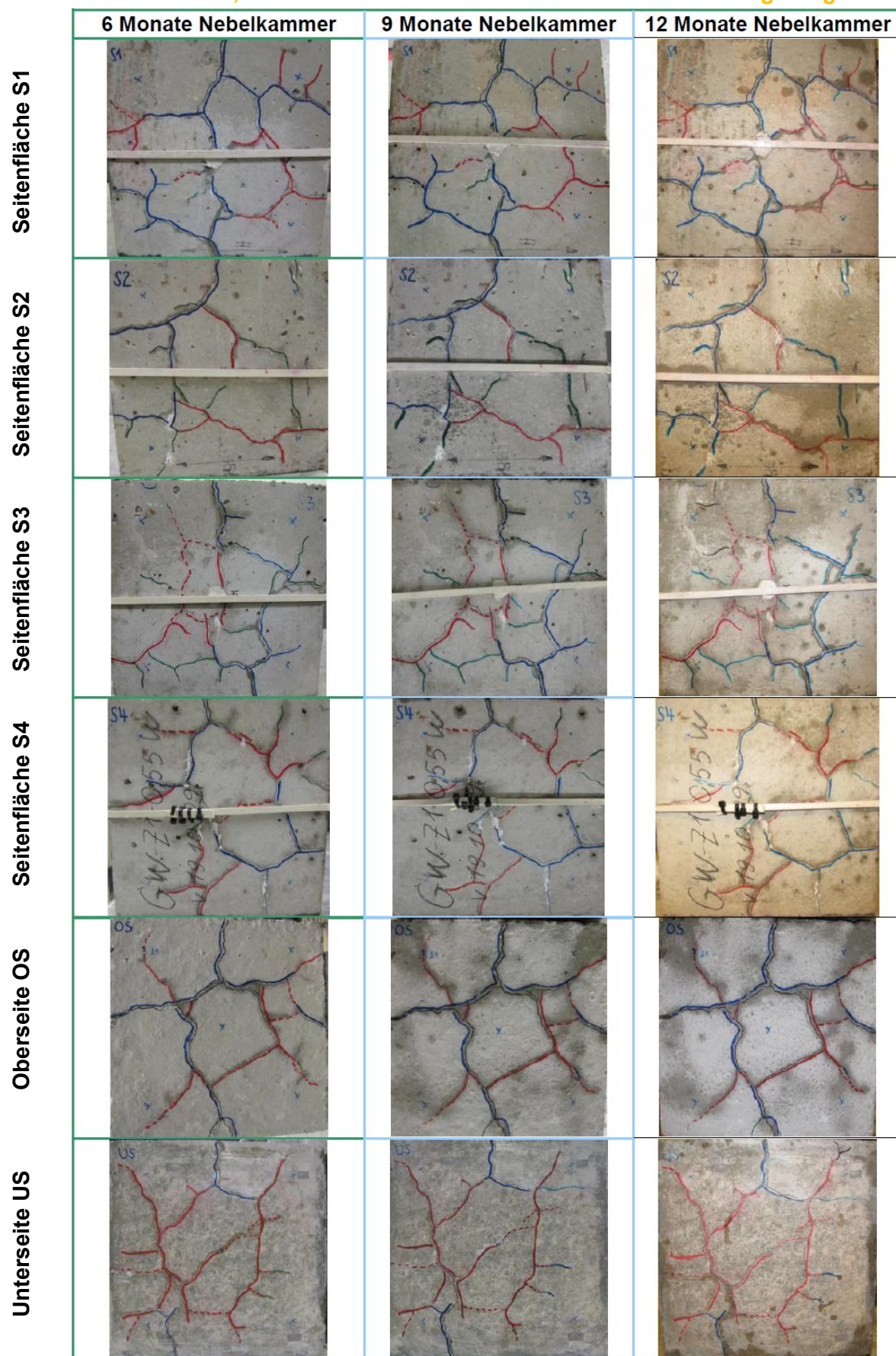


Abbildung A 47 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,55 während 6, 9 und 12 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

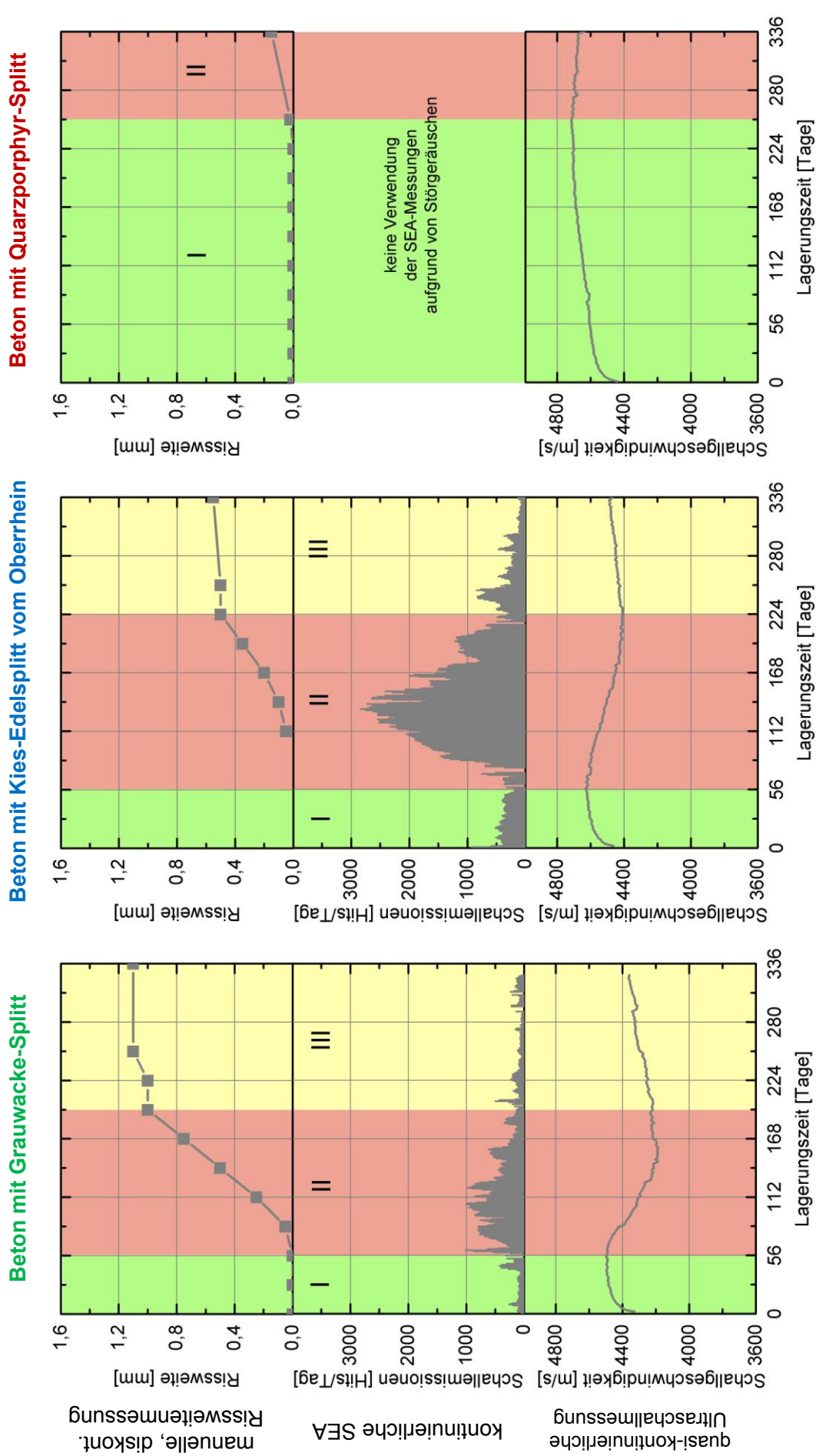


Abbildung A 48 Vergleich der zeitlichen Entwicklung von maximaler Rissweite, Schallemissions-Aktivität und Schallgeschwindigkeit am 300 mm³ - Betonwürfel mit einem w/z-Wert von 0,45 bei variierender Gesteinskörnung während Nebelkammerlagerung bei 40 °C

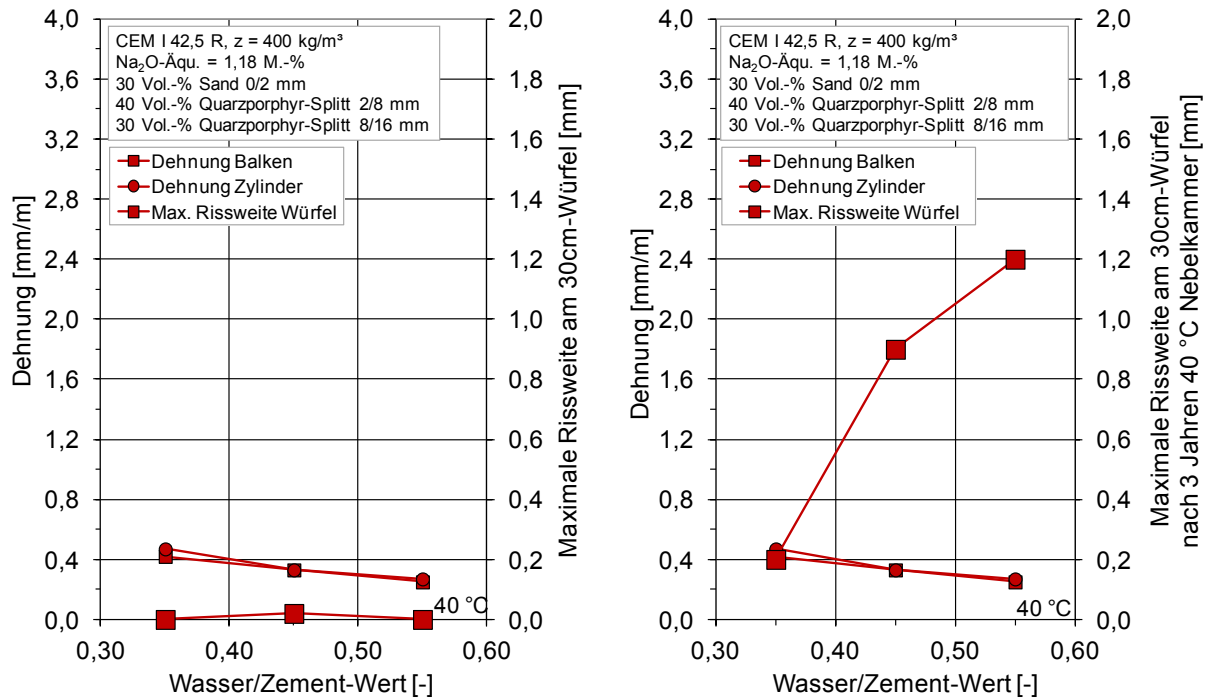


Abbildung A 49 Einfluss des w/z-Wertes von Beton mit Quarzporphyr-Splitt auf die Dehnung von Betonbalken 75 x 75 x 280 [mm] und Betonzylindern \varnothing 70 mm, l = 280 mm sowie die maximale Rissweite am 300 mm-Würfel nach 9 Monaten (rechts) bzw. beim Würfel nach 3 Jahren (links) 40 °C-Nebelkammerlagerung

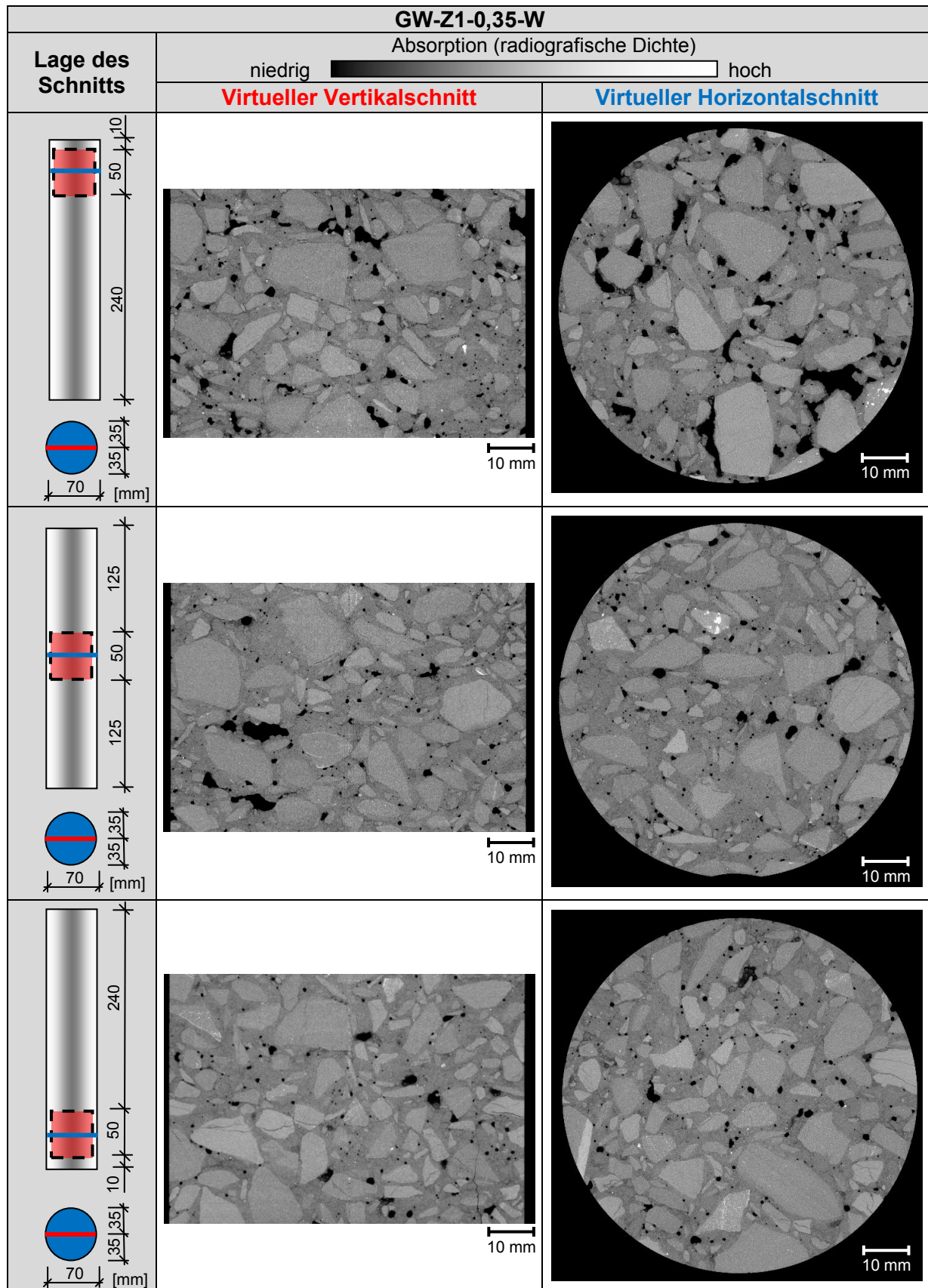


Abbildung A 50 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines aus einem 300 mm³-Würfel entnommenen Betonzylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert = 0,35 nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit μ -3D-CT

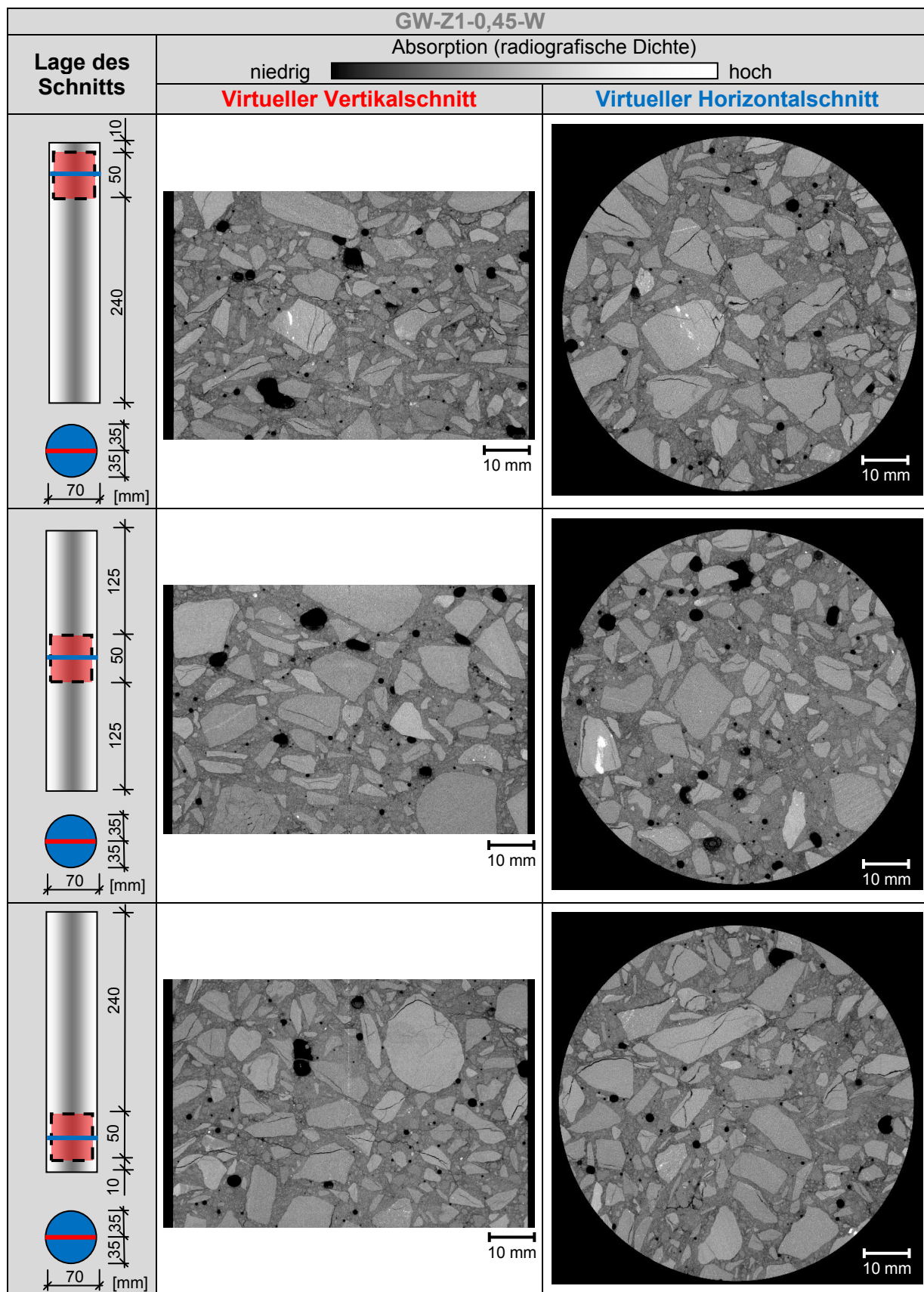


Abbildung A 51 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines aus einem 300 mm³-Würfel entnommenen Betonzylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert = 0,45 nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit µ-3D-CT

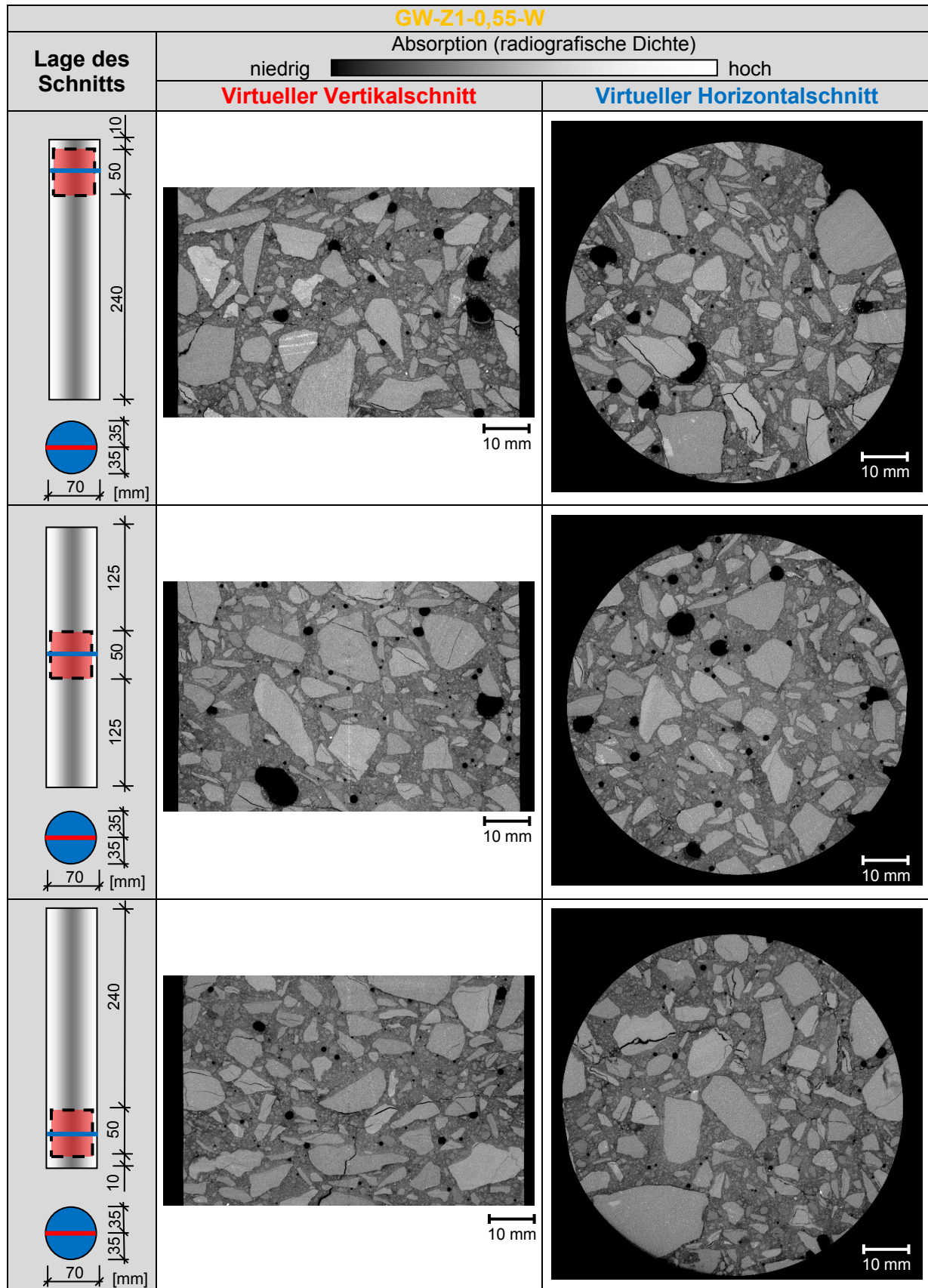


Abbildung A 52 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines aus einem 300 mm³-Würfel entnommenen Betonzylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert = 0,55 nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit µ-3D-CT

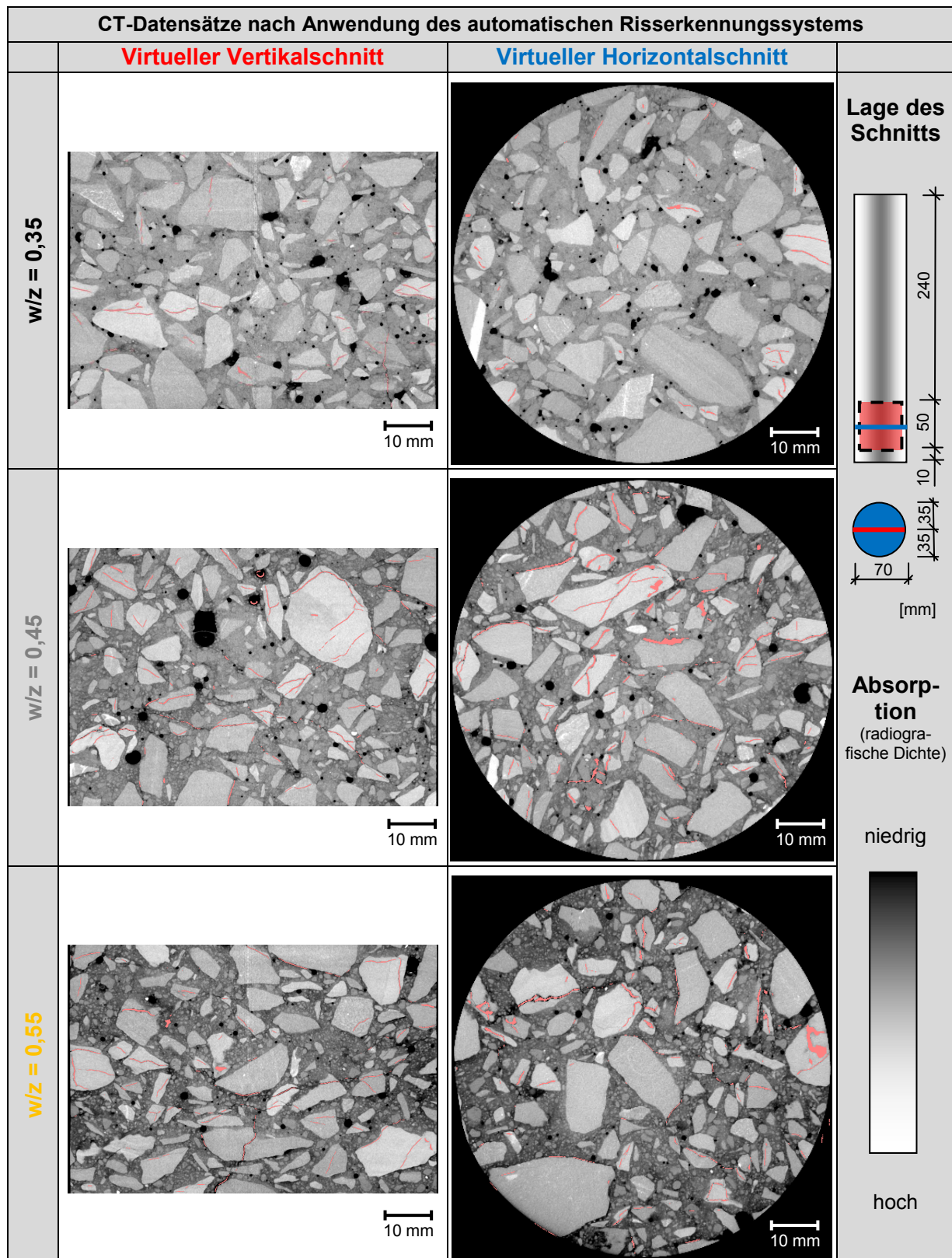


Abbildung A 53 Visualisierung der Risse von CT-Datensätzen mittels automatischem Risserkennungssystem am Beispiel der aus den 300 mm³-Würfel entnommenen Betonzylinder (Ø 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z -Wert nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

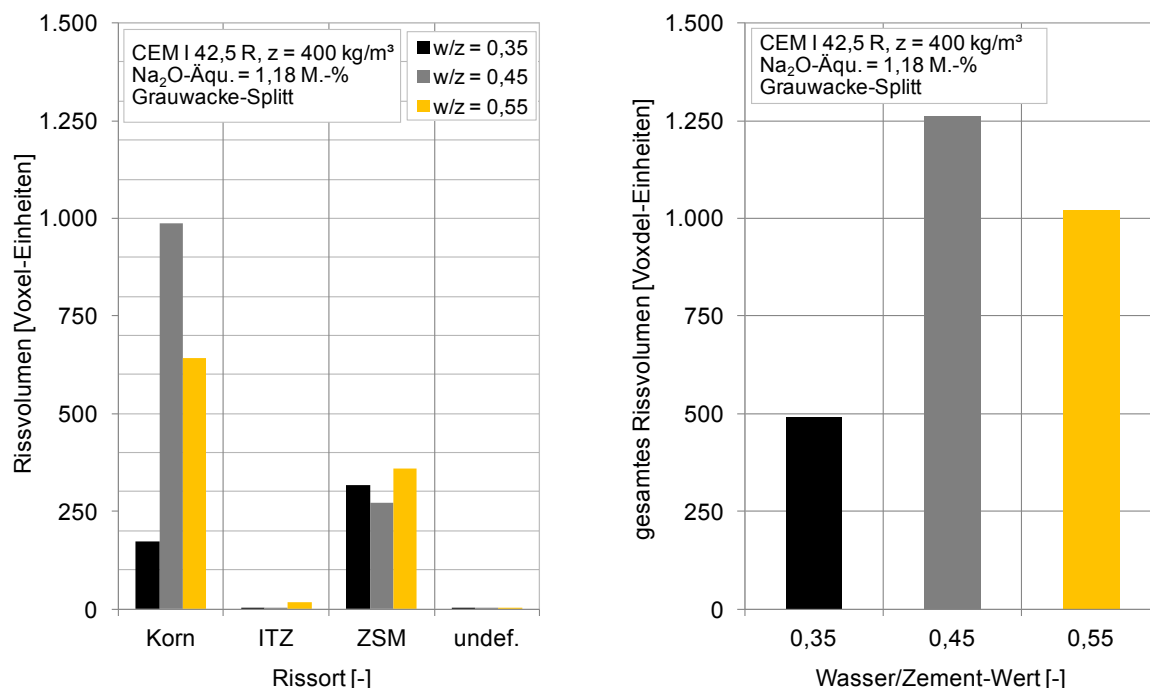


Abbildung A 54 dem Risort zugeordnetes Riservolumen (links) und gesamtes Riservolumen (rechts) basierend auf der quantitativen Auswertung der CT-Datensätze mittels automatischem Risserkennungssystem und „Region Statistics“-Tool der Zylinder (Ø 70 mm, L 280 mm) aus 300 mm³-Betonwürfeln mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

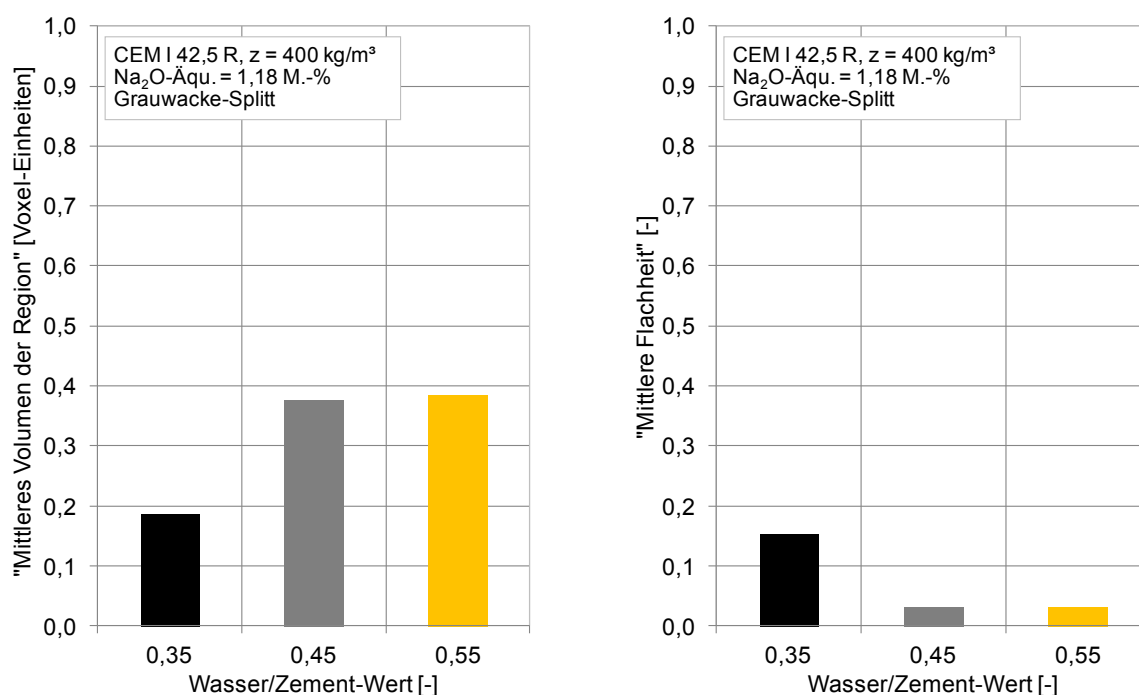


Abbildung A 55 „Mittleres Riservolumen“ (links) und „mittlere Flachheit“ basierend auf der quantitativen Auswertung der CT-Datensätze mittels automatischem Risserkennungssystem und „TMSingle SpreadSheet“-Tool der Zylinder (Ø 70 mm, L 280 mm) aus 300 mm³-Betonwürfeln mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

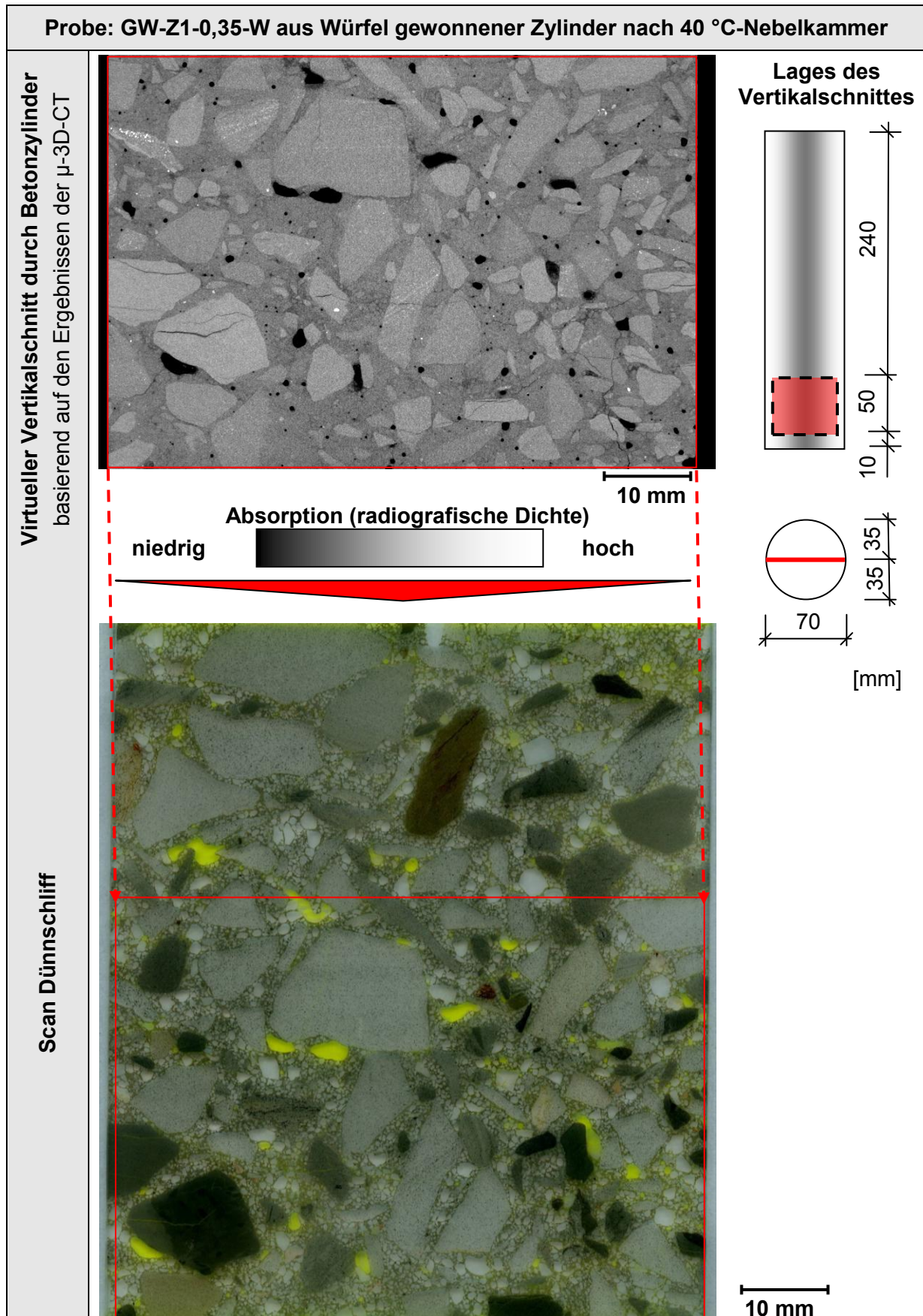


Abbildung A 56 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt aus 300 mm³-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,35

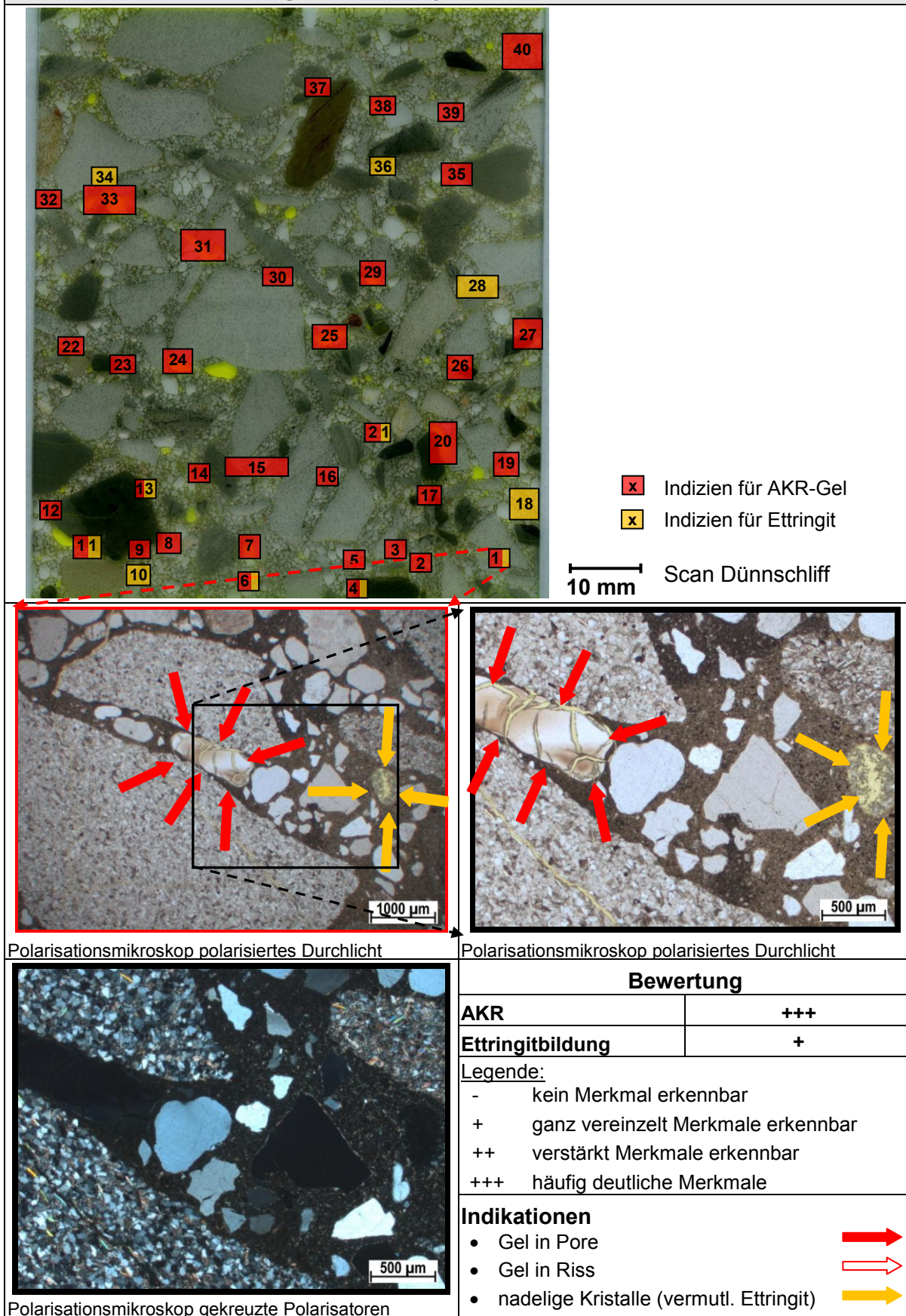
GW-Z1-0,35-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 1


Abbildung A 57 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert = 0,35; Detail 1: Pore mit AKR-Gel und Ettringit

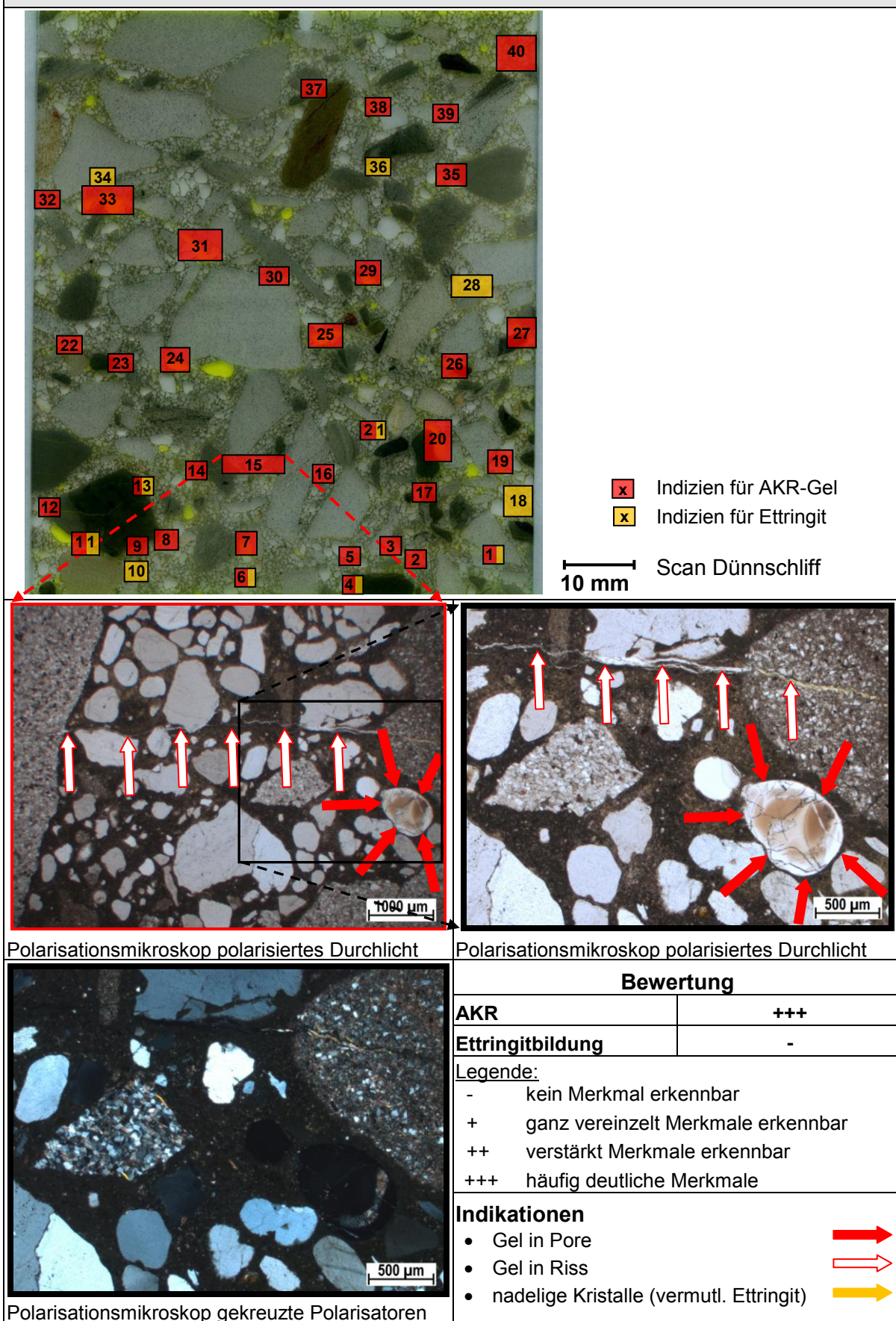
GW-Z1-0,35-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 15


Abbildung A 58 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z = 0,35; Detail 15: Pore und Riss mit AKR-Gel gefüllt

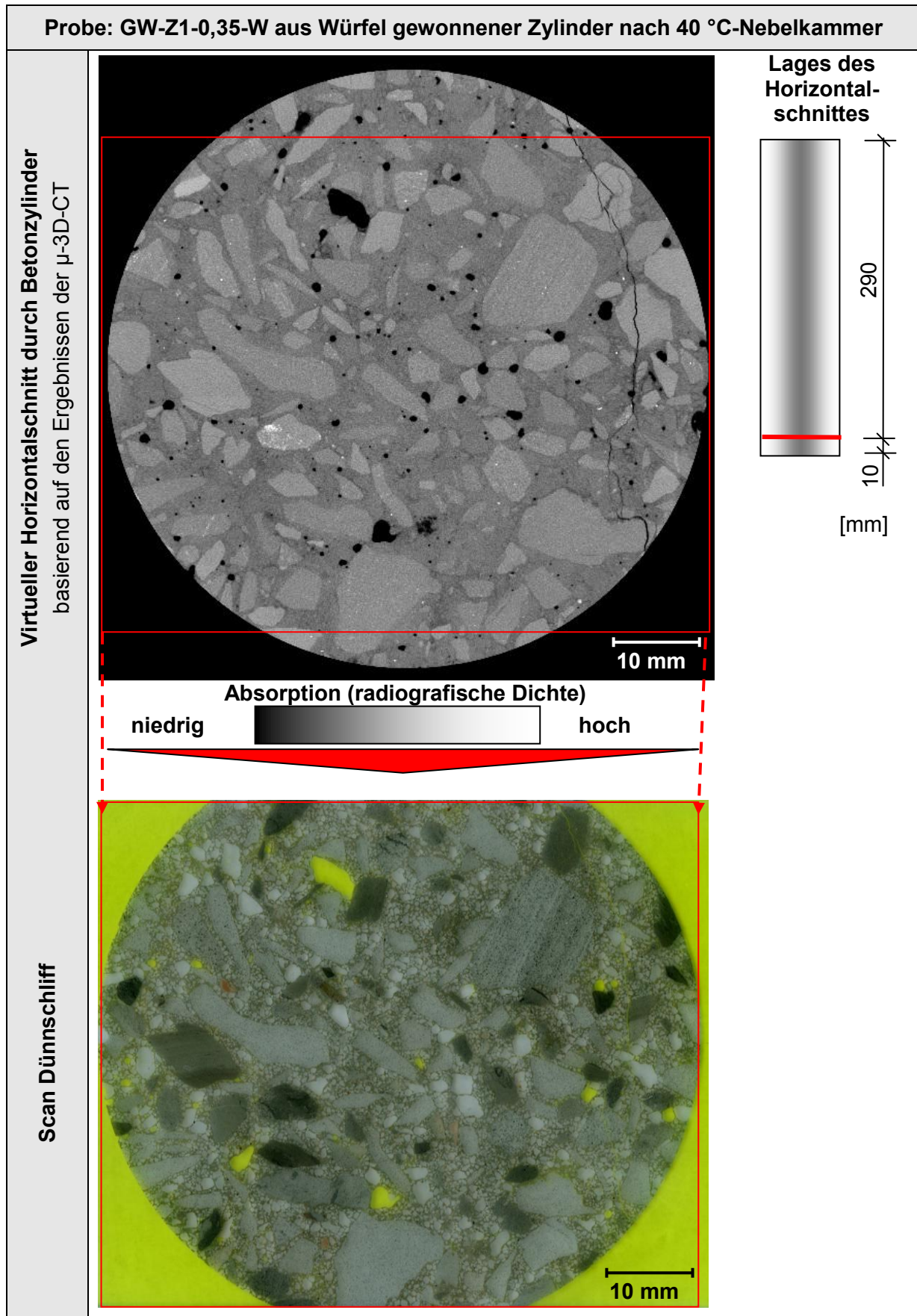


Abbildung A 59 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt aus 300 mm³-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,35

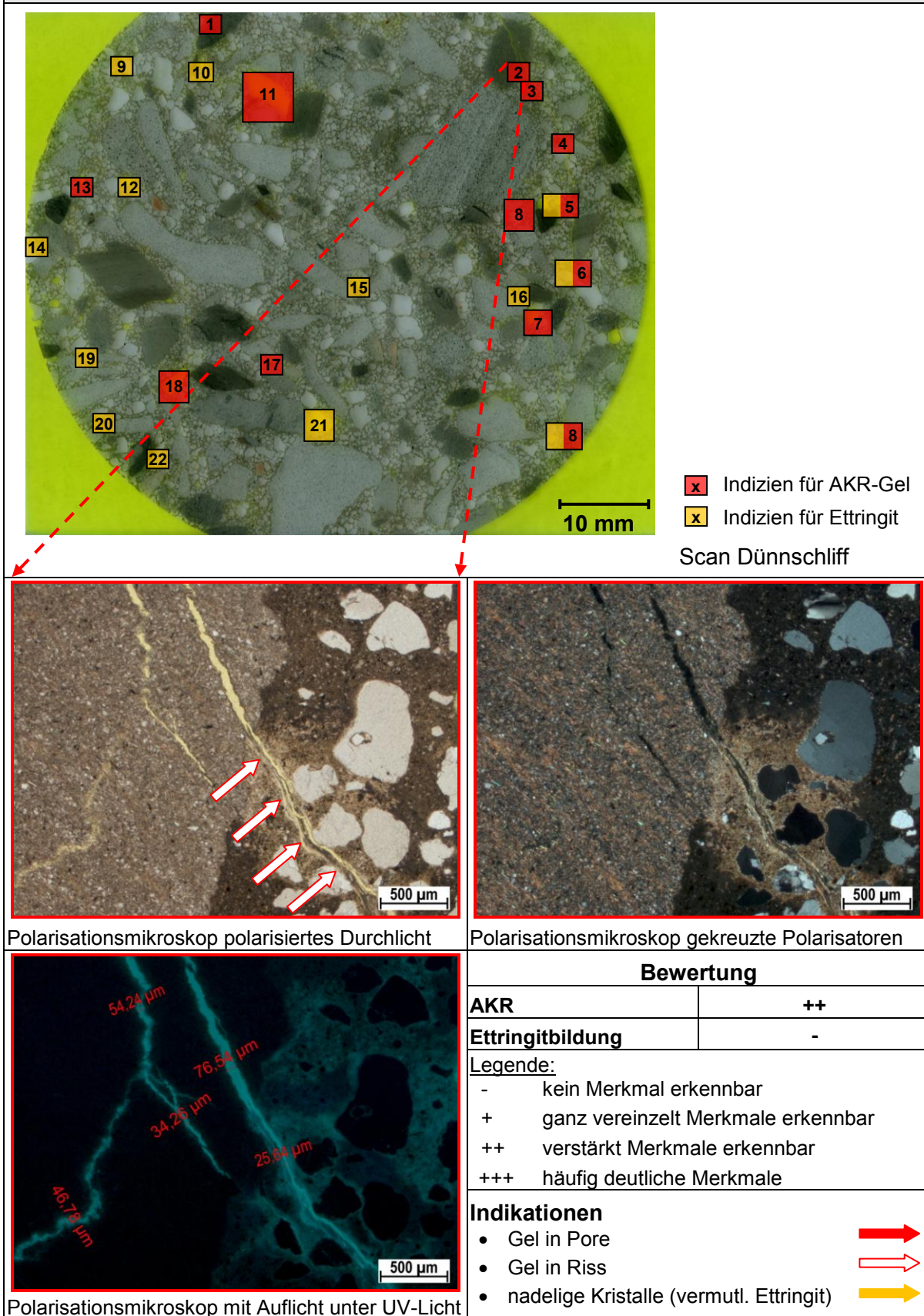
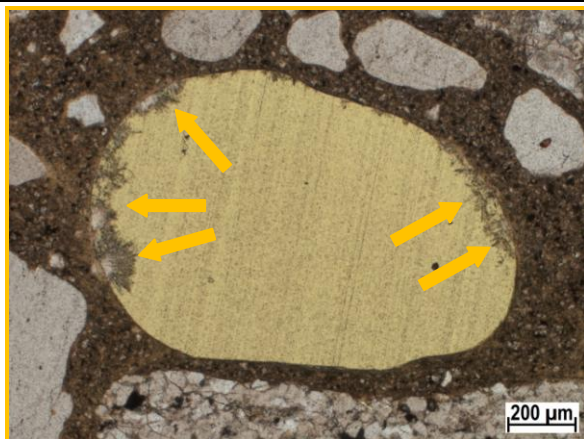
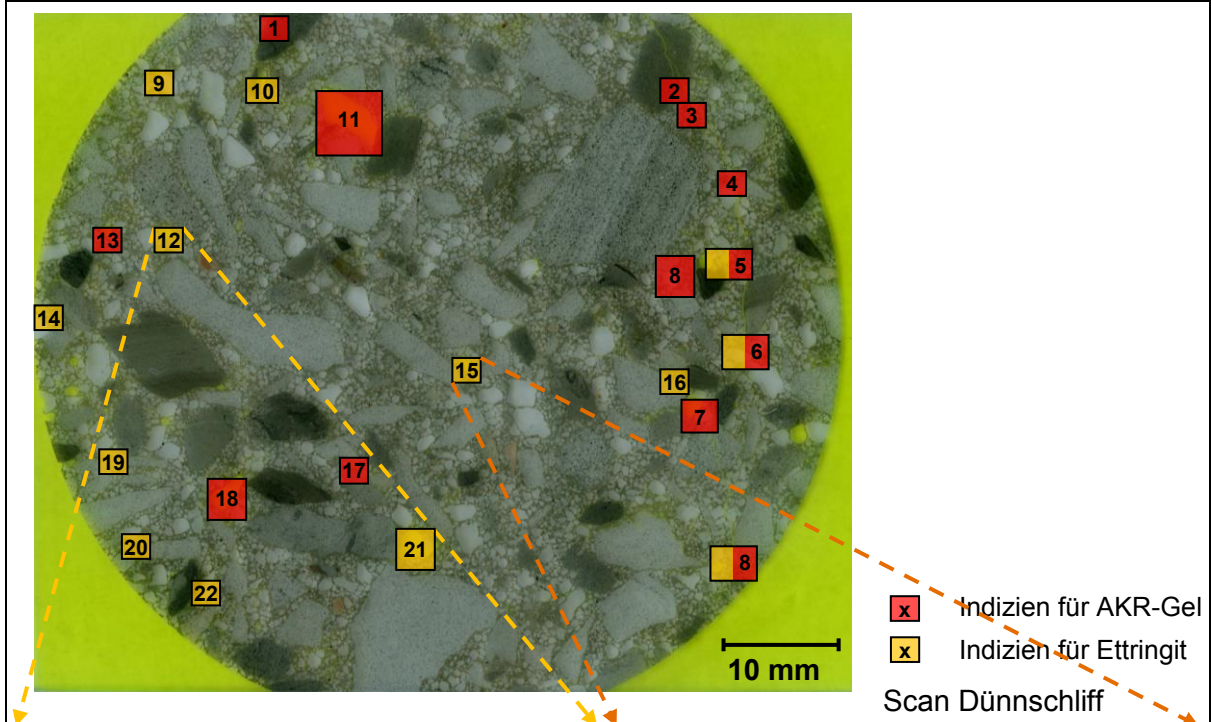
GW-Z1-0,35-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 2


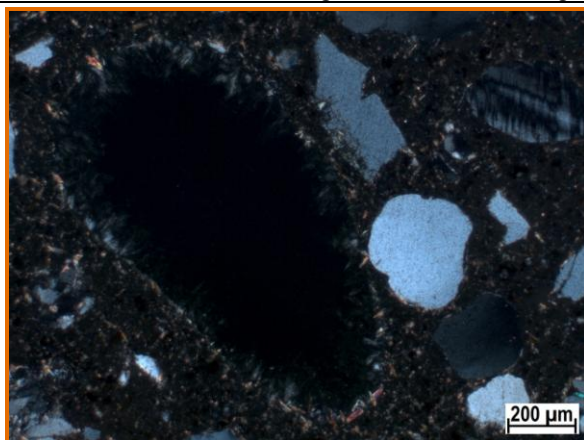
Abbildung A 60 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt aus 300 mm³-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,35; Detail 2: AKR-Gel gefüllter Riss von Gesteinskörnung in Matrix laufend

GW-Z1-0,35-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer Detail 12/15


Detail12: Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht: vereinzelt Ettringit an Porenwandung



Detail15: Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht: verstärkt Ettringit an Porenwandung



Detail15: Polarisationsmikroskop gekreuzte Polarisatoren: verstärkt Ettringit an Porenwandung

Bewertung

AKR	-
Ettringitbildung	++

Legende:

-	kein Merkmal erkennbar
+	ganz vereinzelt Merkmale erkennbar
++	verstärkt Merkmale erkennbar
+++	häufig deutliche Merkmale

Indikationen

- Gel in Pore →
- Gel in Riss →
- nadelige Kristalle (vermutl. Ettringit) →

Abbildung A 61 Dünnschliffuntersuchung Vertikalschnitt Beton mit Grauwacke-Splitt + w/z-Wert von 0,35 nach 60 °C-Betonversuch; Detail 12 und 15: Ettringit in Poren

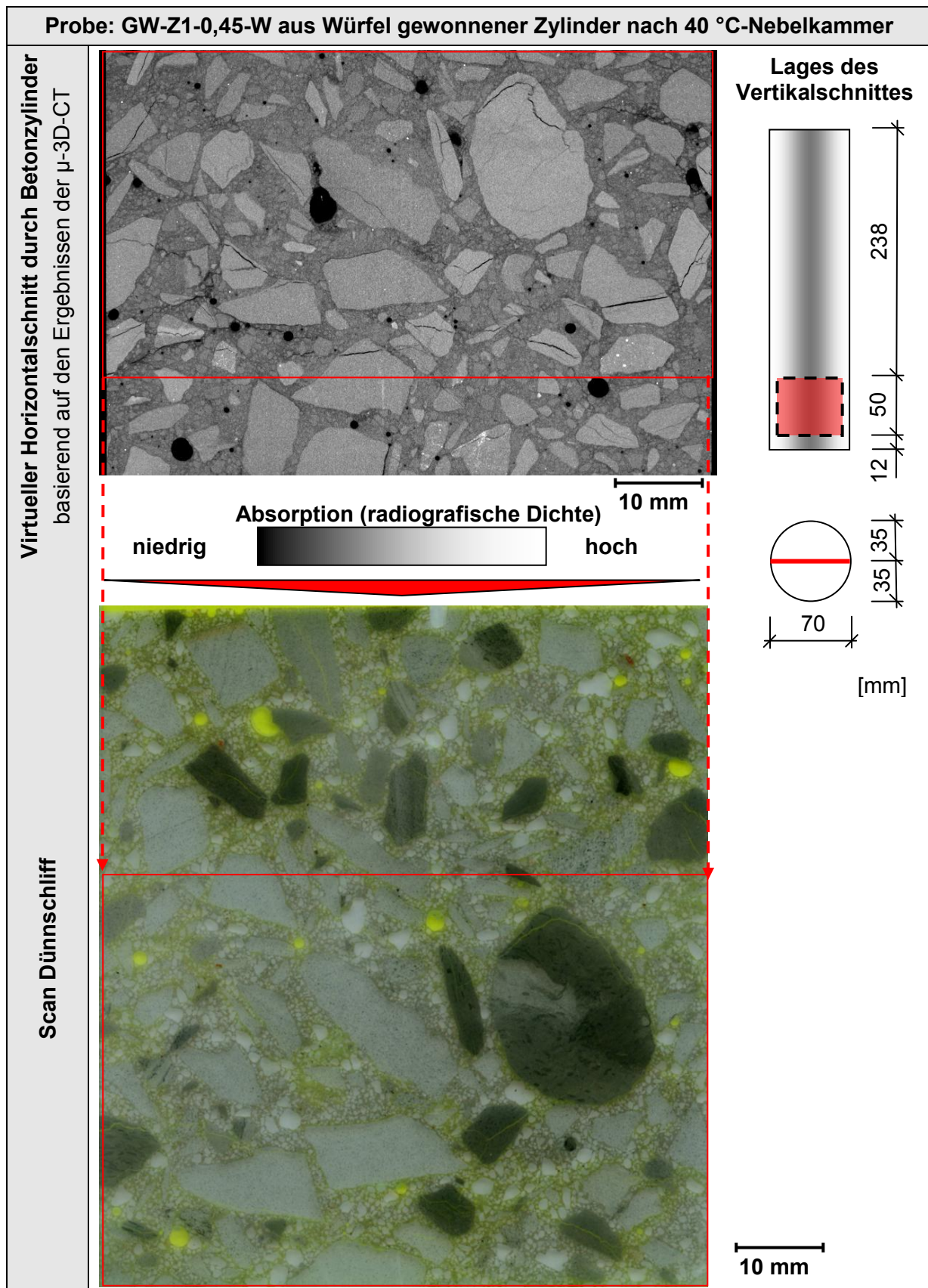


Abbildung A 62 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt aus 300 mm³-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45

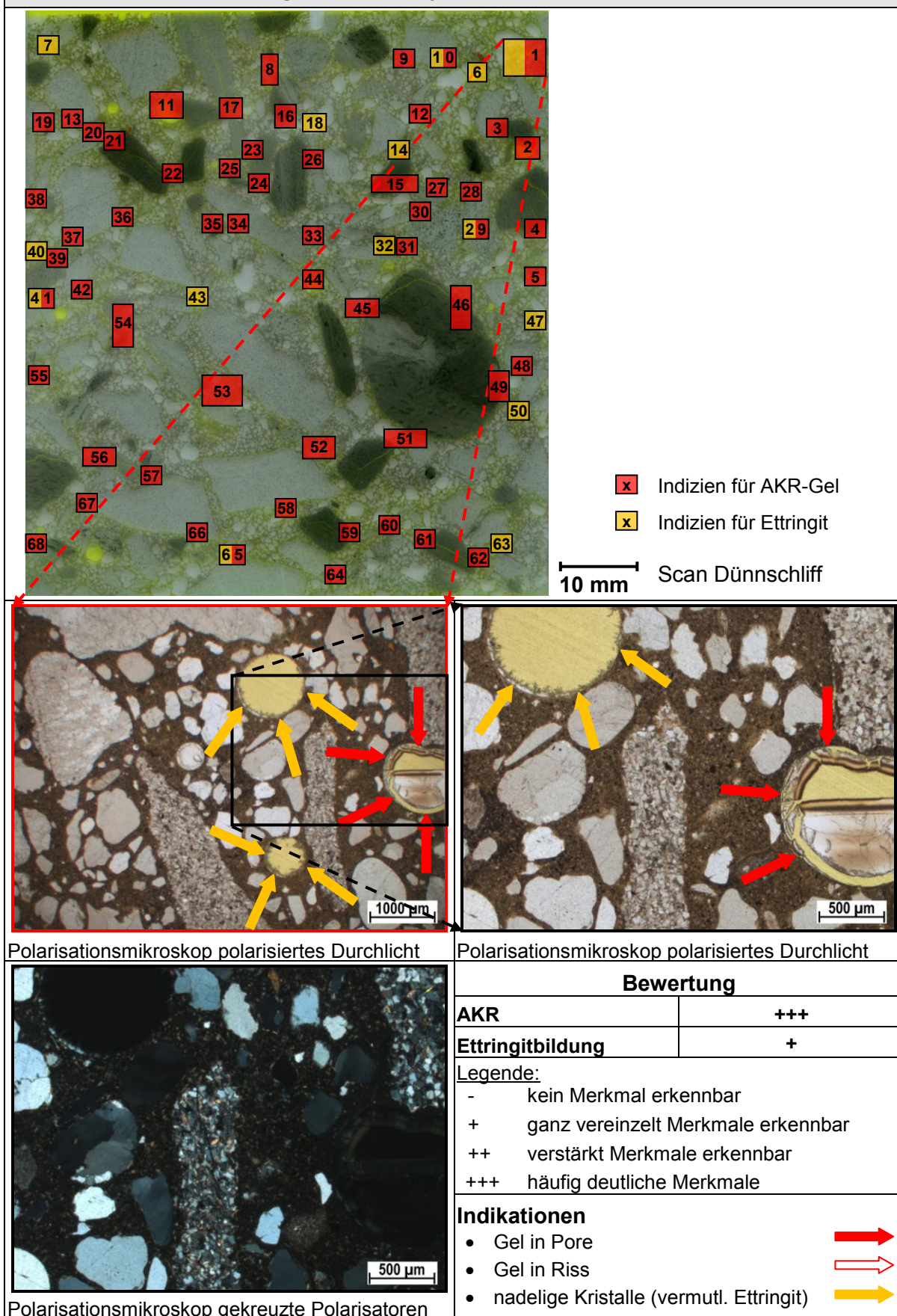
GW-Z1-0,45-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 1


Abbildung A 63 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z = 0,45; Detail 1: Pore mit AKR-Gel + etwas Ettringit

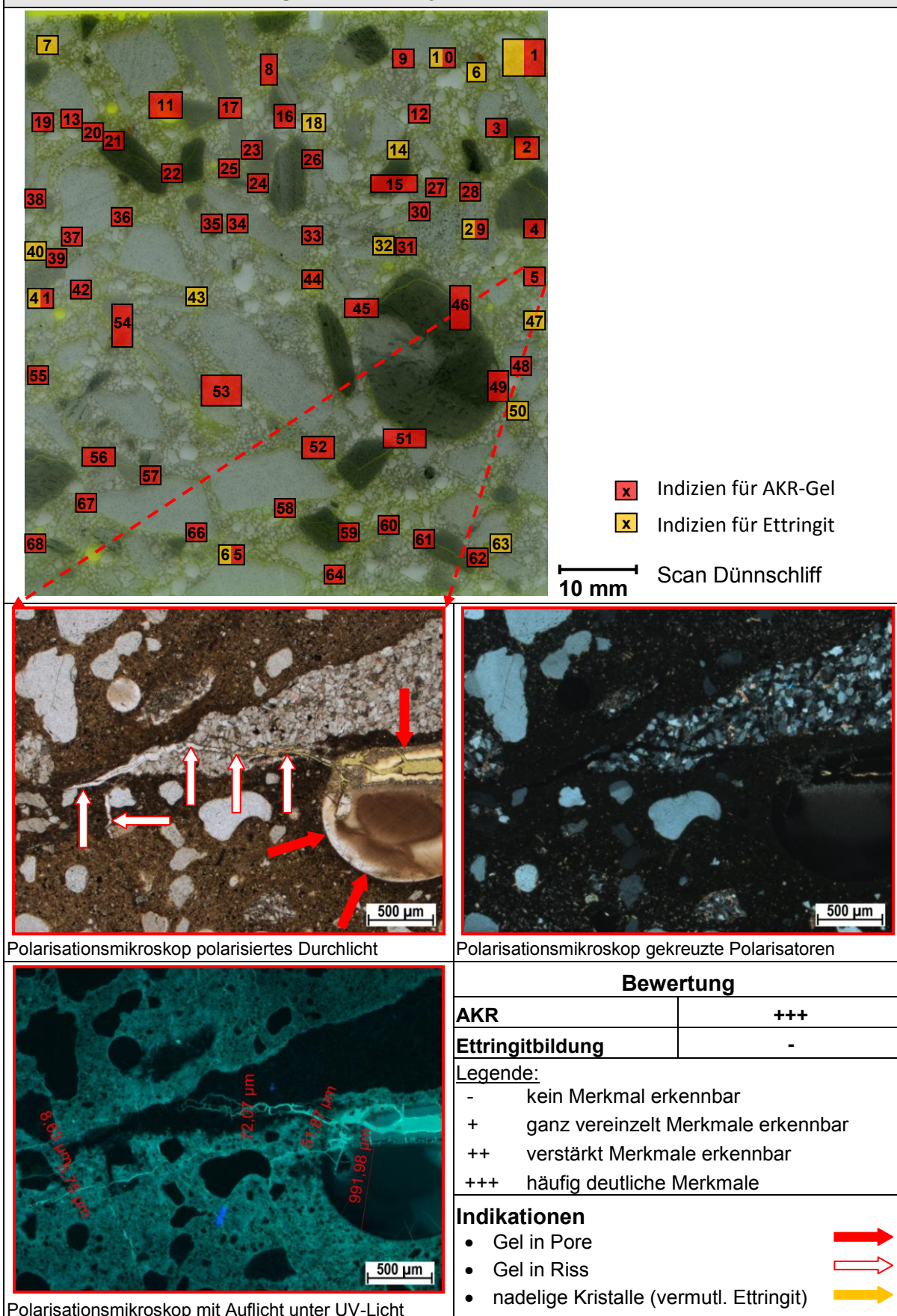
GW-Z1-0,45-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 5


Abbildung A 64 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z = 0,45; Detail 5: Pore und Riss mit AKR-Gel gefüllt

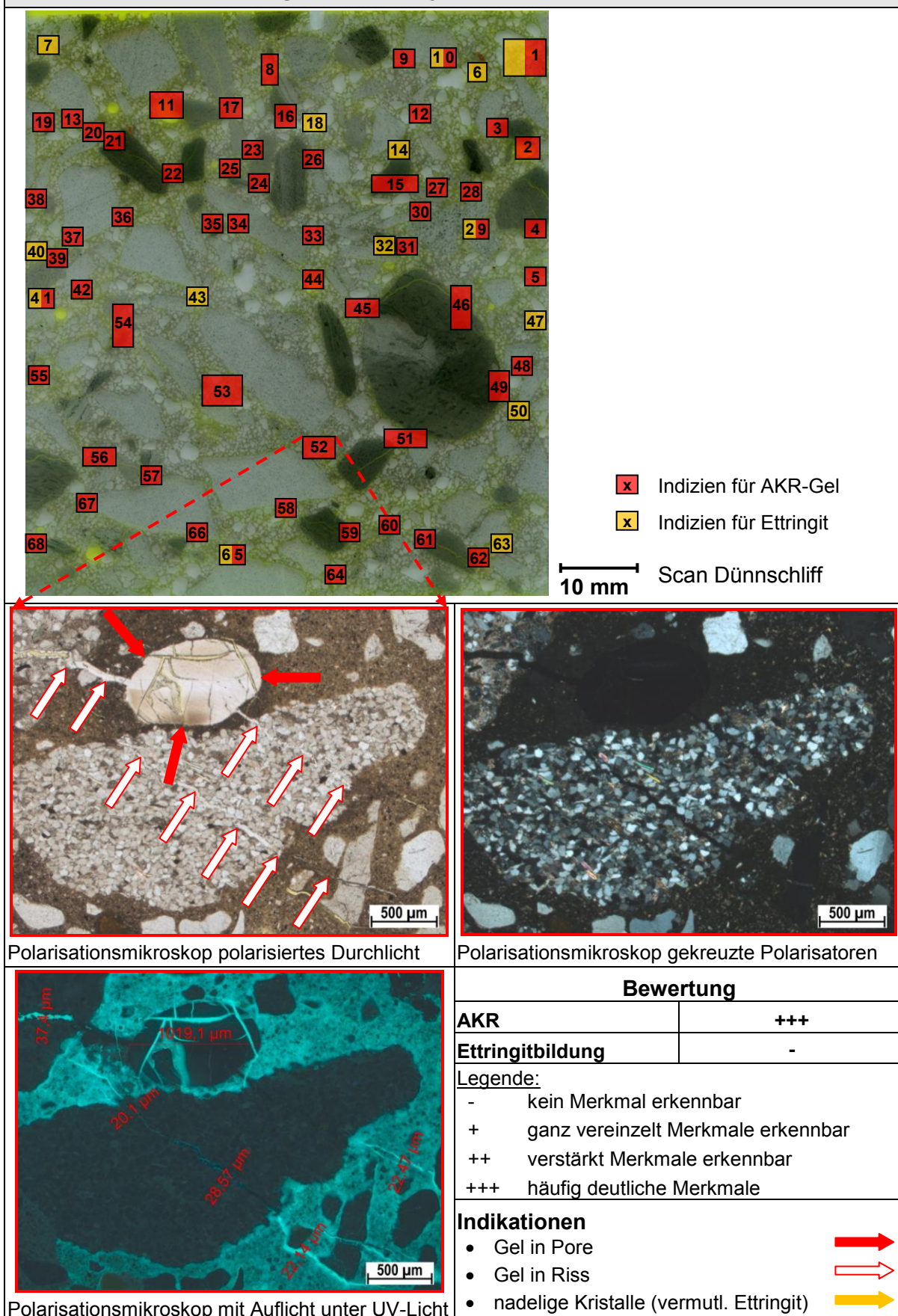
GW-Z1-0,45-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 52


Abbildung A 65 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und $w/z = 0,45$; Detail 52: Pore und Riss mit AKR-Gel gefüllt

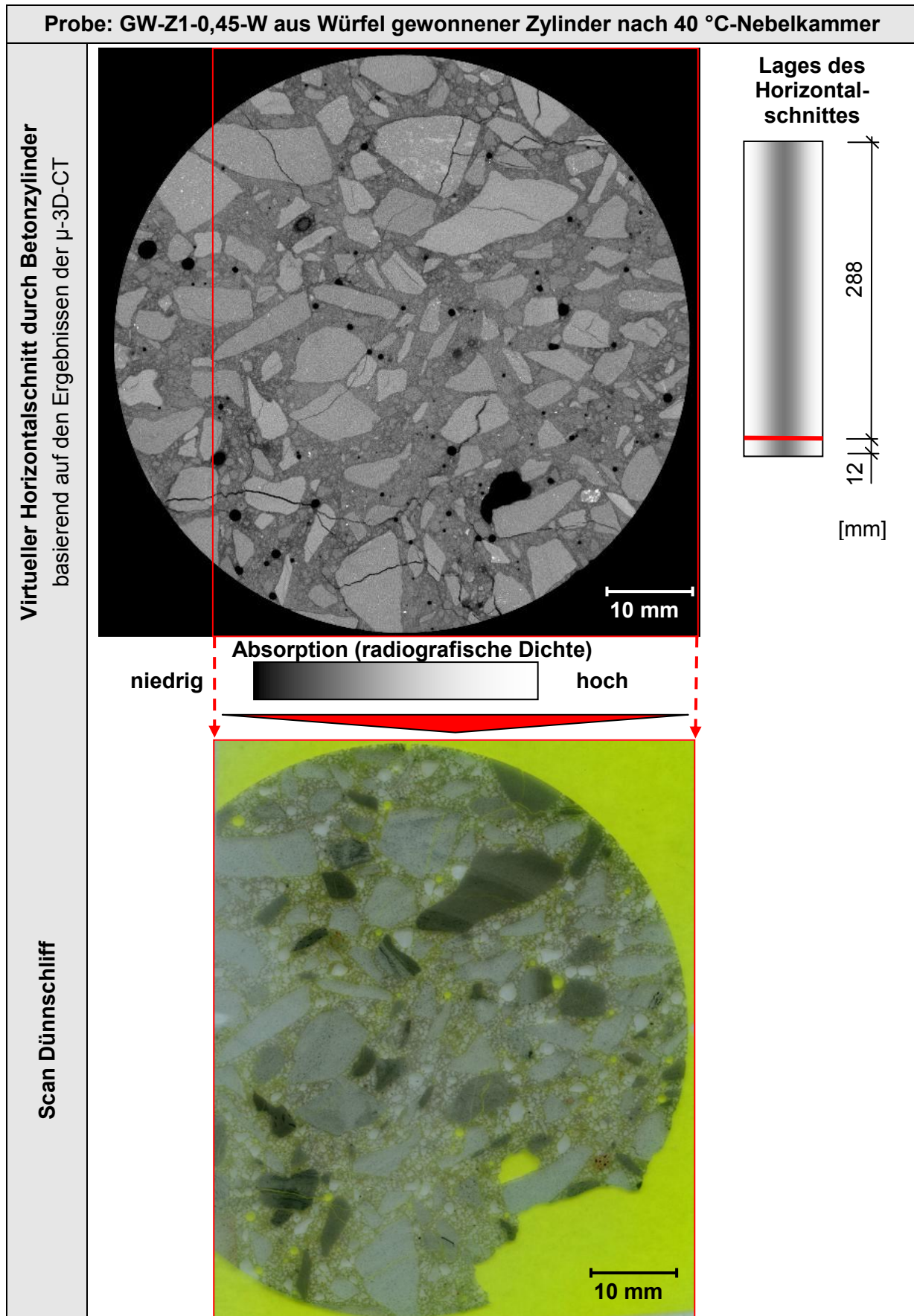


Abbildung A 66 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt aus 300 mm-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45

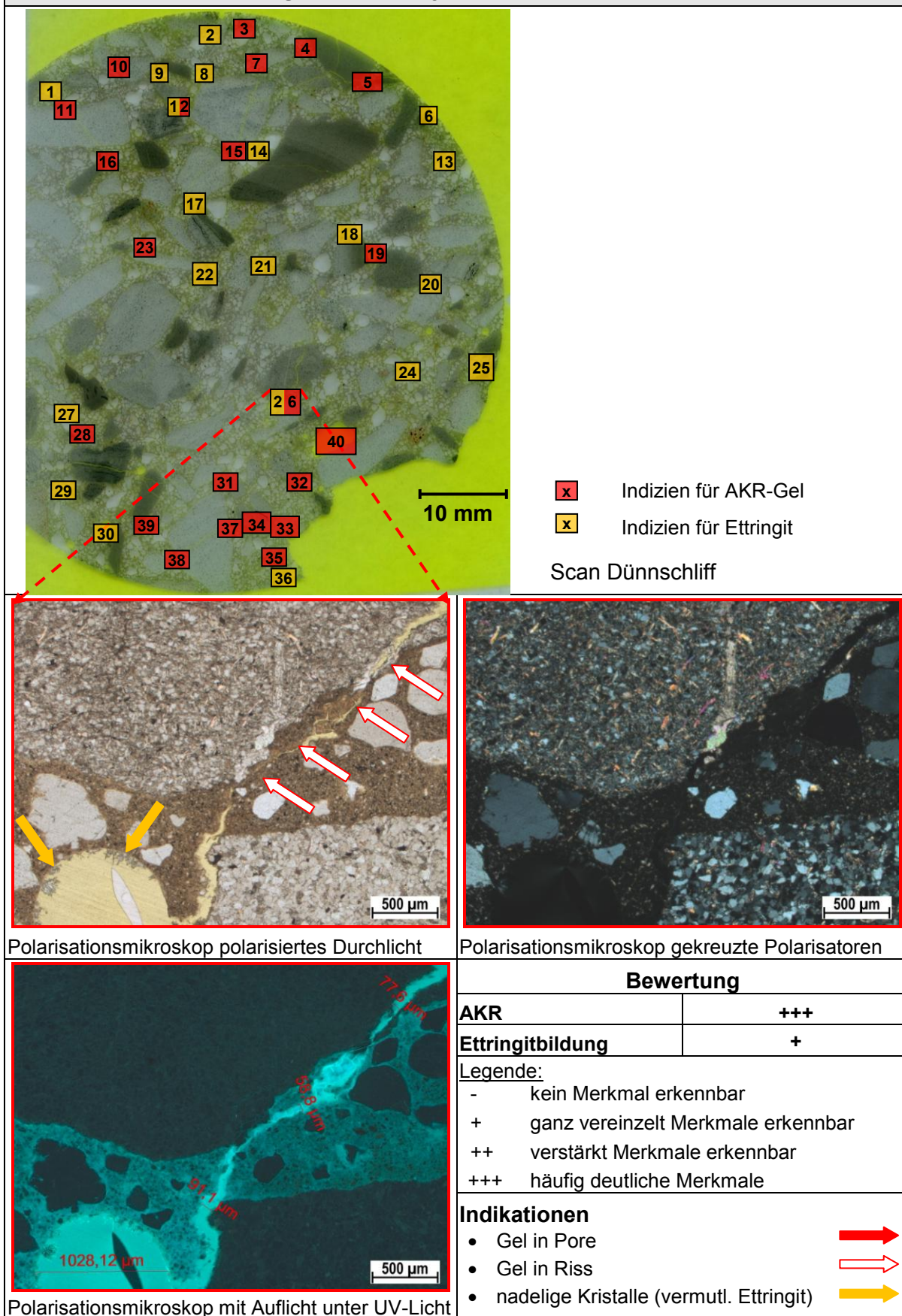
GW-Z1-0,45-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 26


Abbildung A 67 Dünnschliffuntersuchung am Würfel n. 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 Detail 26: AKR-Gel gefüllter Riss, Pore mit Ettringit

GW-Z1-0,45-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 34

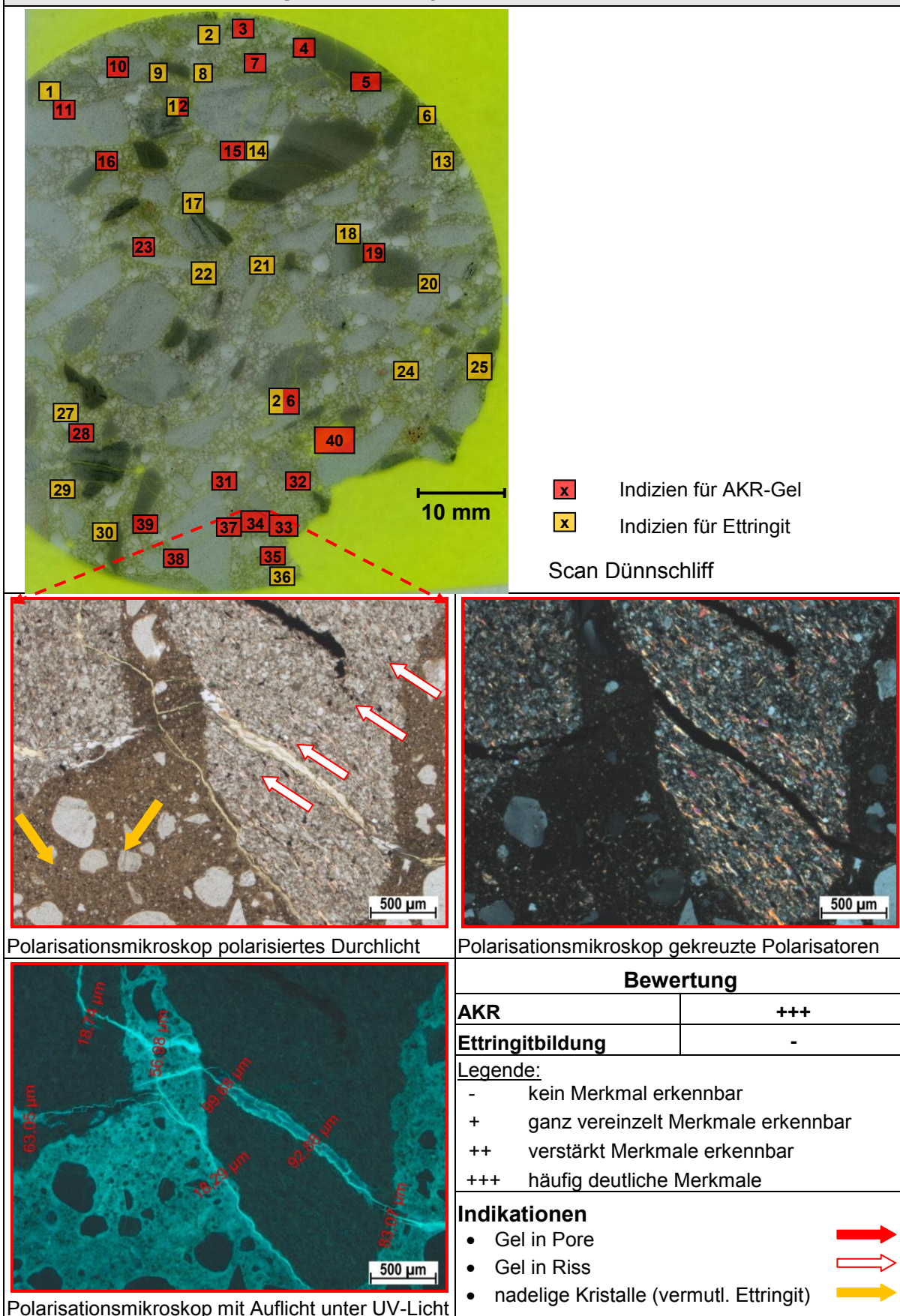


Abbildung A 68 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z = 0,45; Detail 34: breiter Riss mit AKR-Gel gefüllt

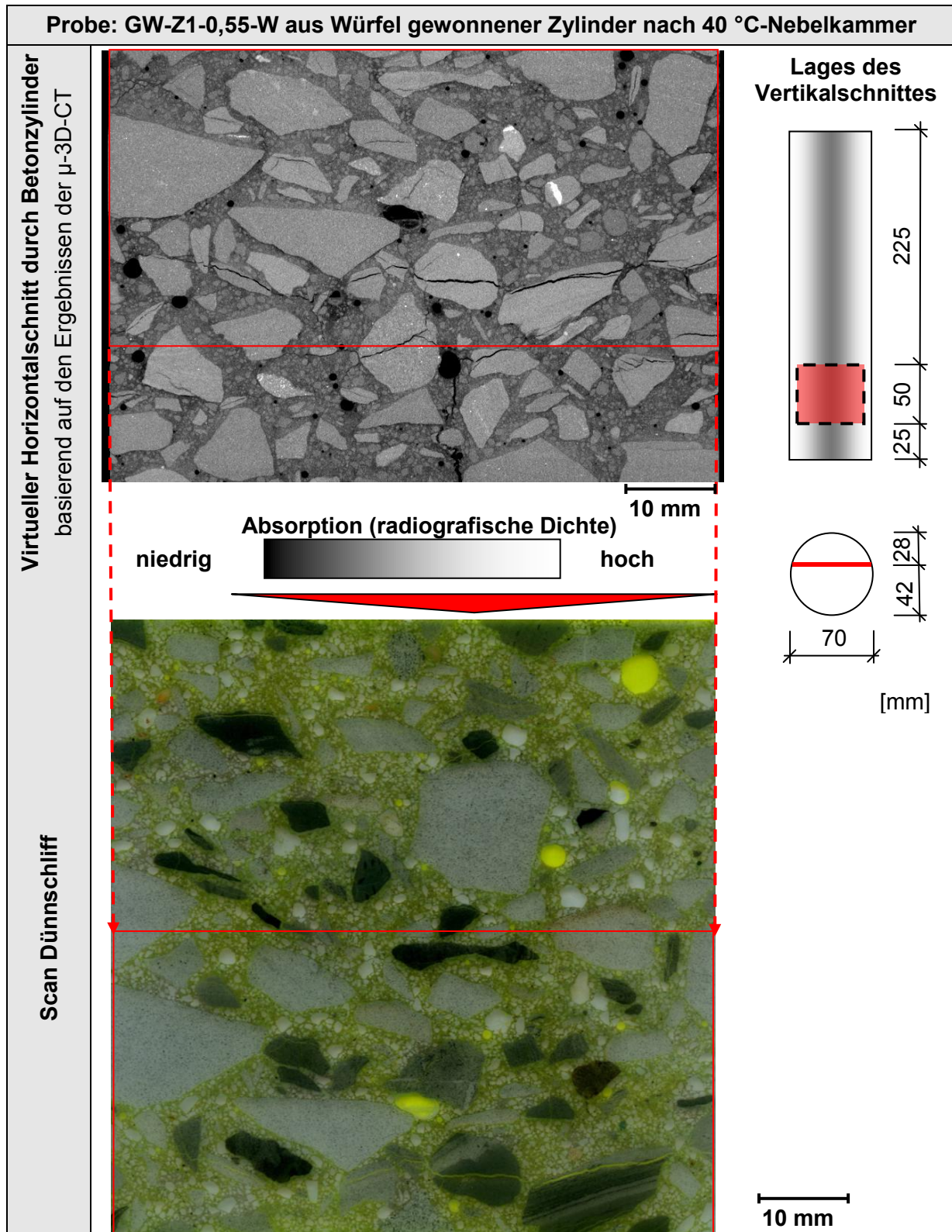


Abbildung A 69 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt aus 300 mm-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55

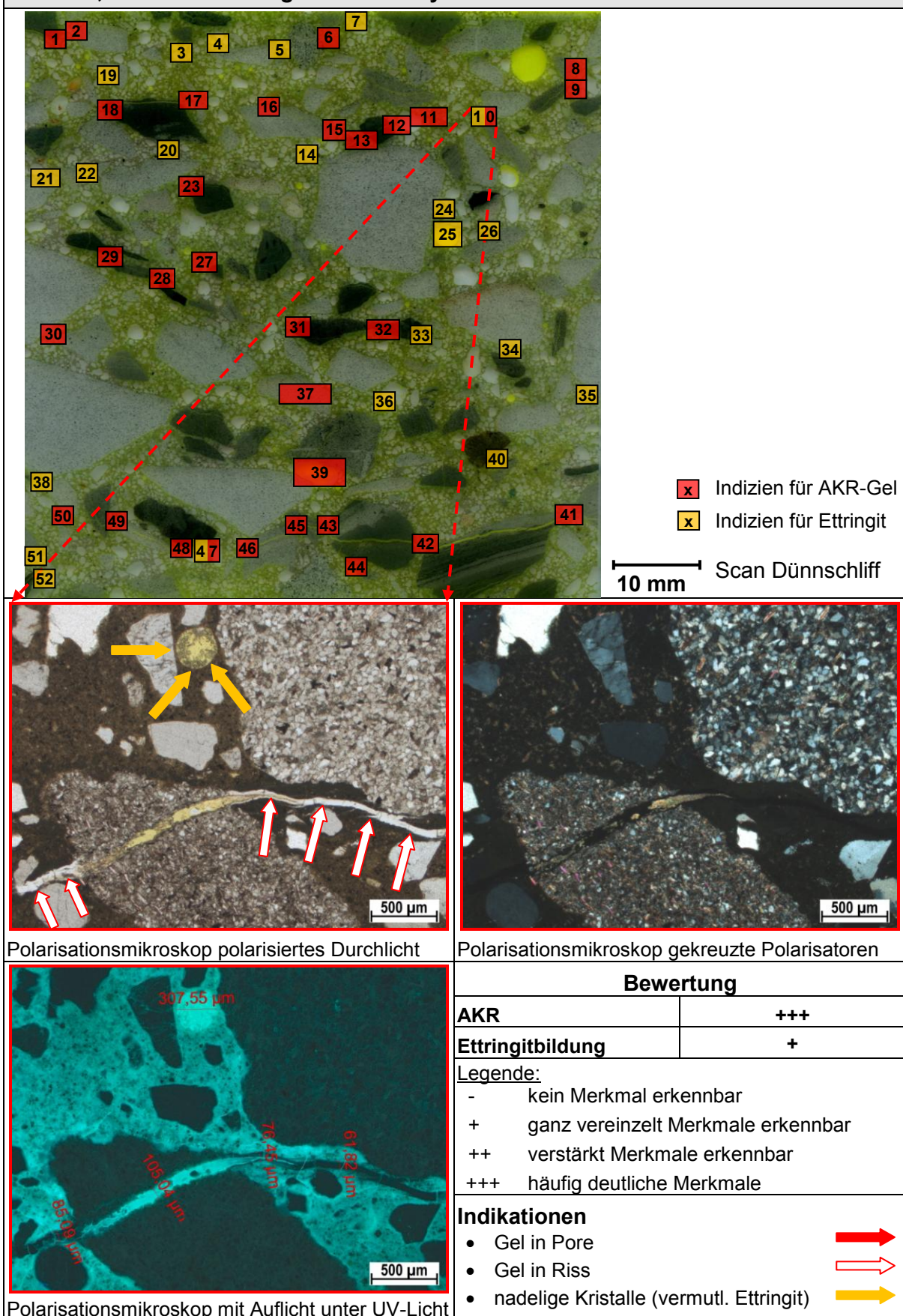
GW-Z1-0,55-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 10


Abbildung A 70 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt + w/z = 0,55; Detail 10: gelgefüllter Riss, Pore mit Ettringit

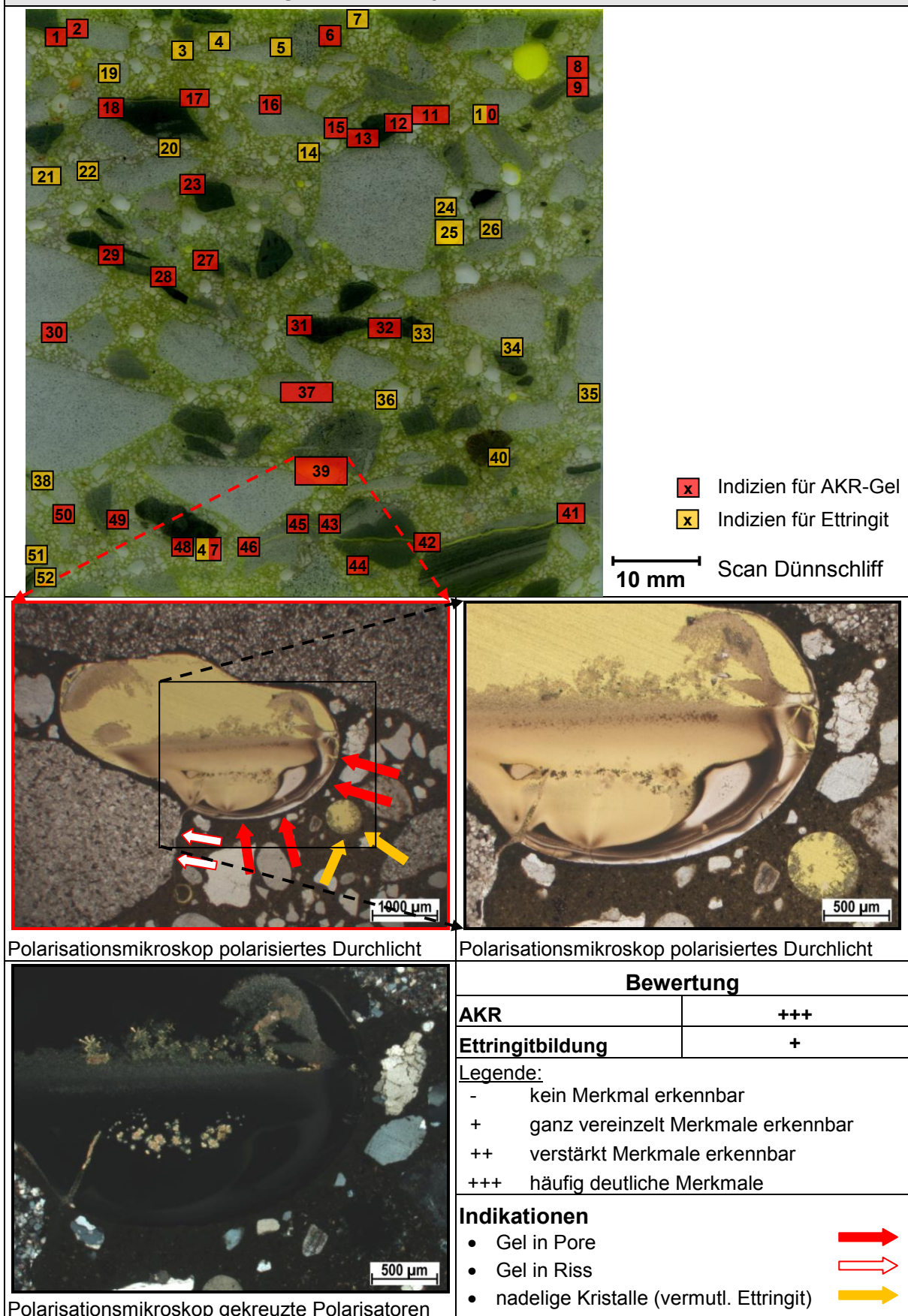
GW-Z1-0,55-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 39


Abbildung A 71 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt + w/z = 0,55; Detail 39: große Pore halb mit AKR-Gel gefüllt

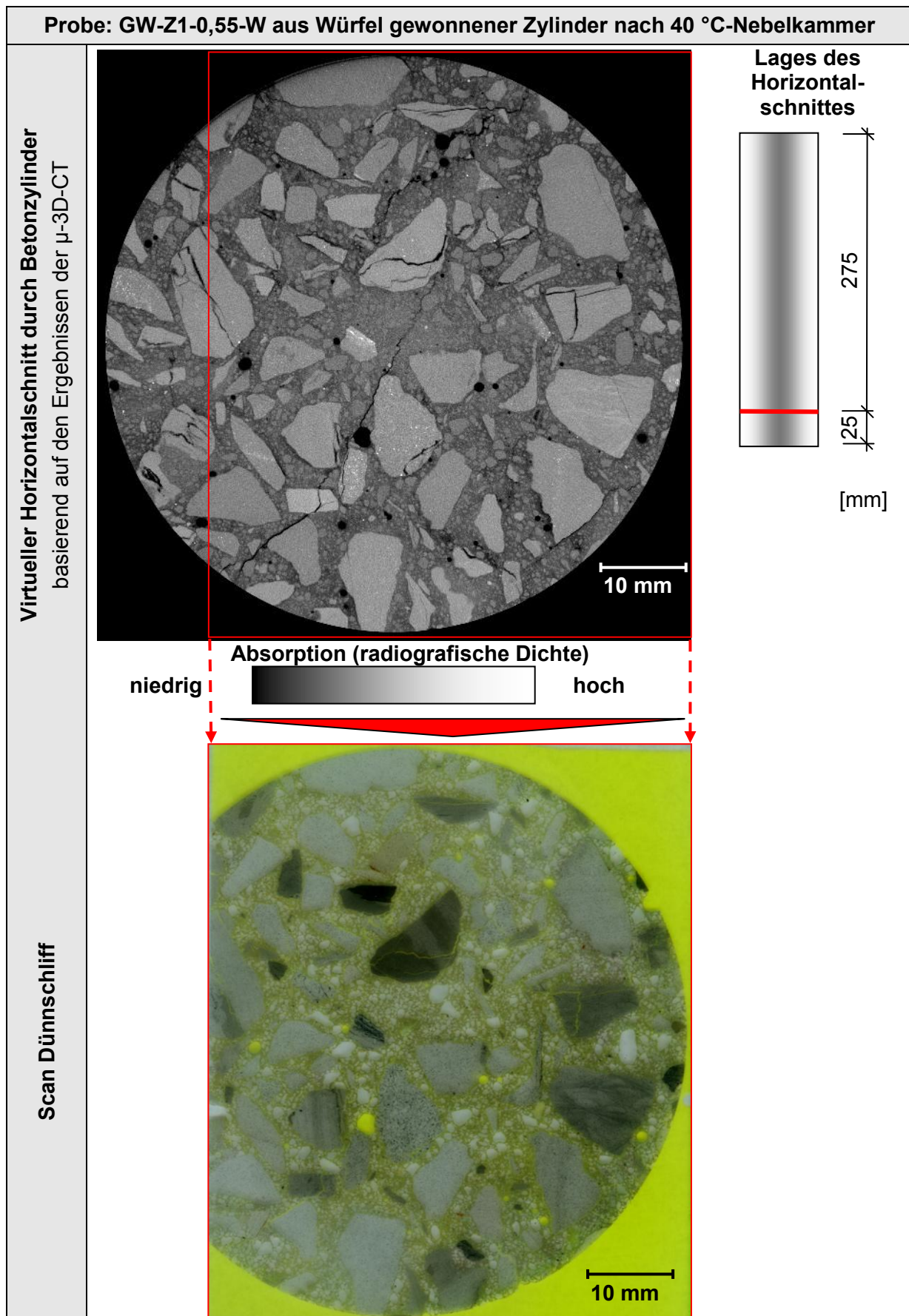


Abbildung A 72 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt aus 300 mm-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55

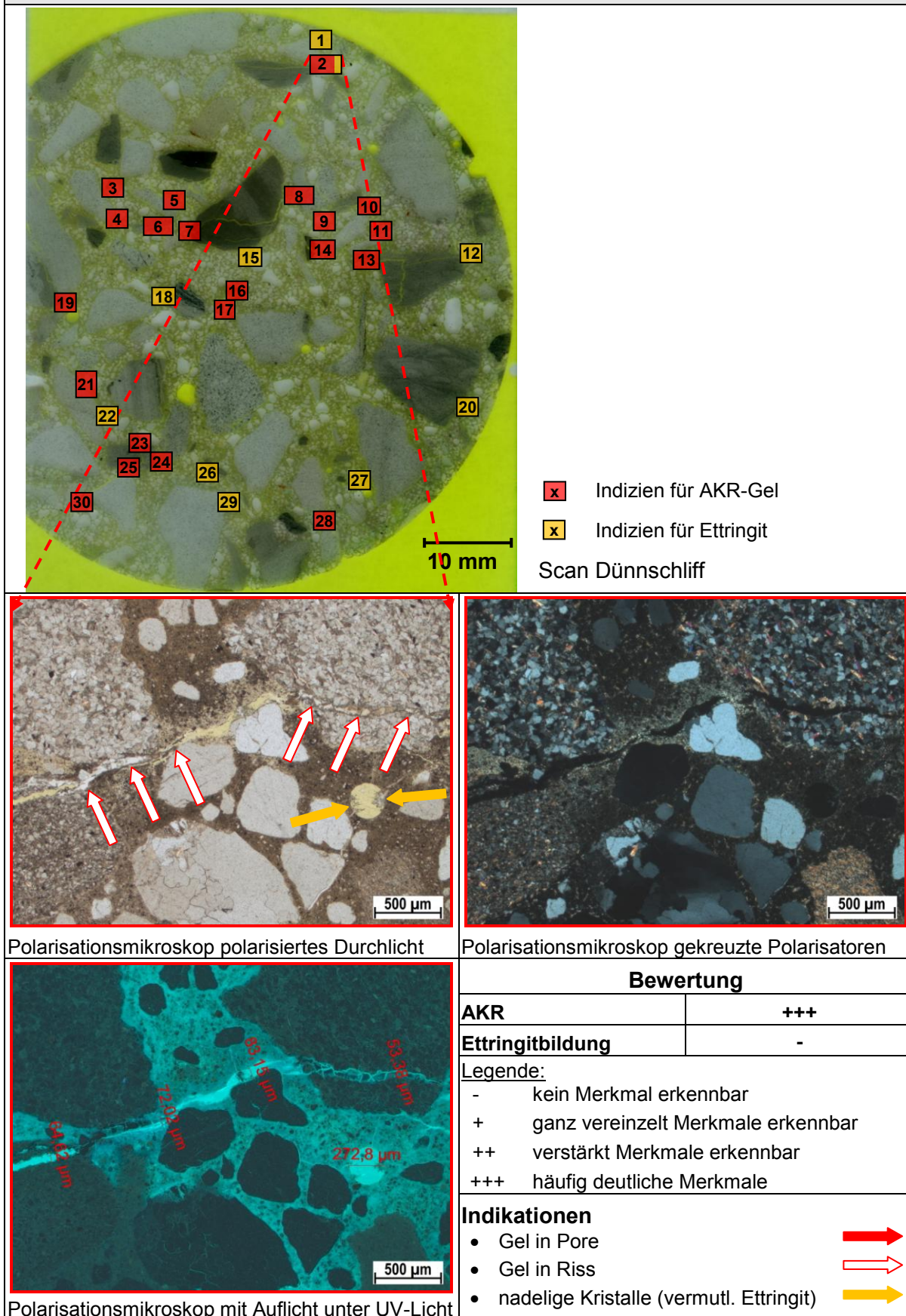
GW-Z1-0,55-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 2


Abbildung A 73 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt + w/z = 0,55; Detail 2: gelgefüllter Riss, Ettringit in Pore

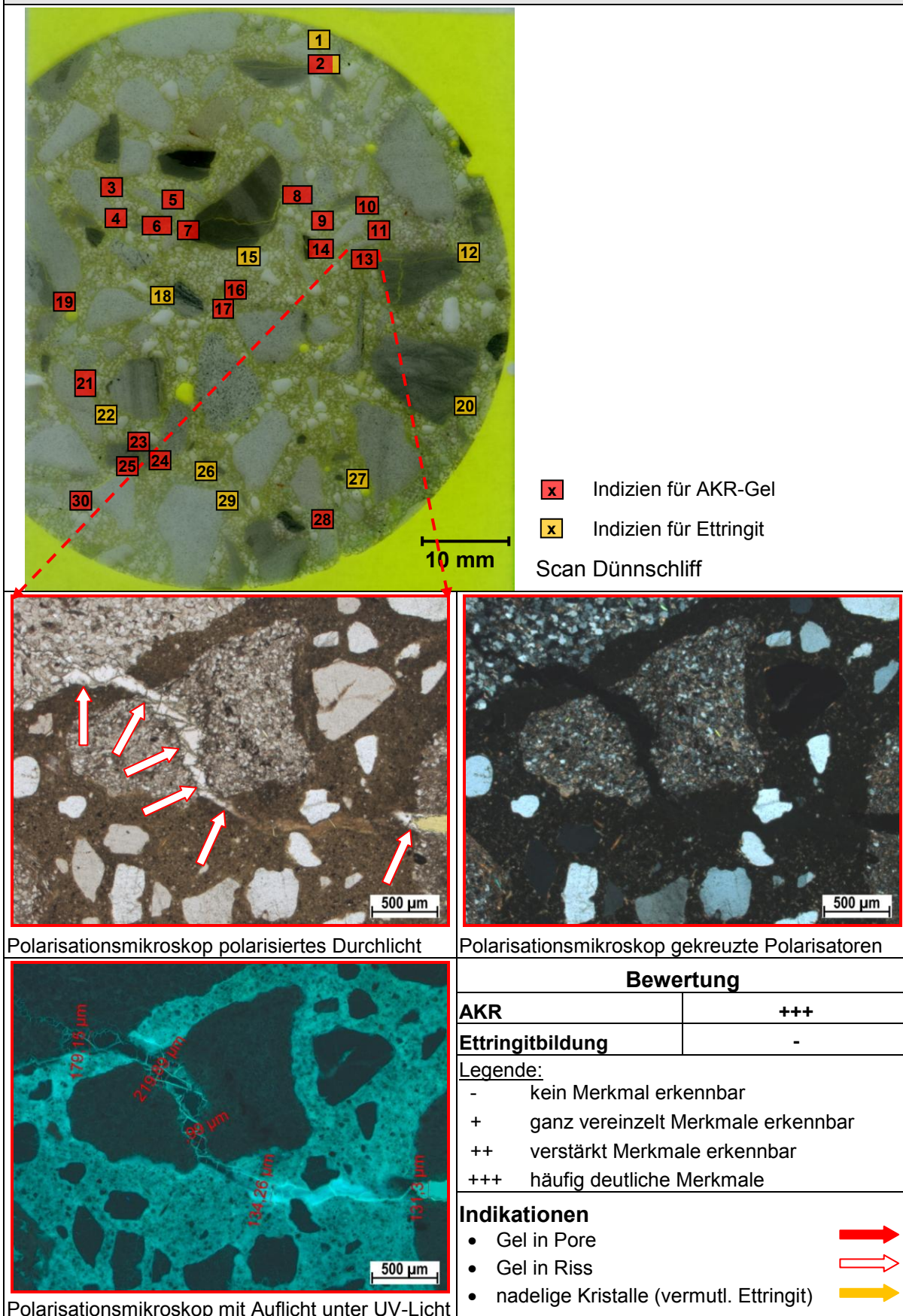
GW-Z1-0,55-W aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 13


Abbildung A 74 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,55; Detail 13: gelgefüllter Riss mit großer Rissweite

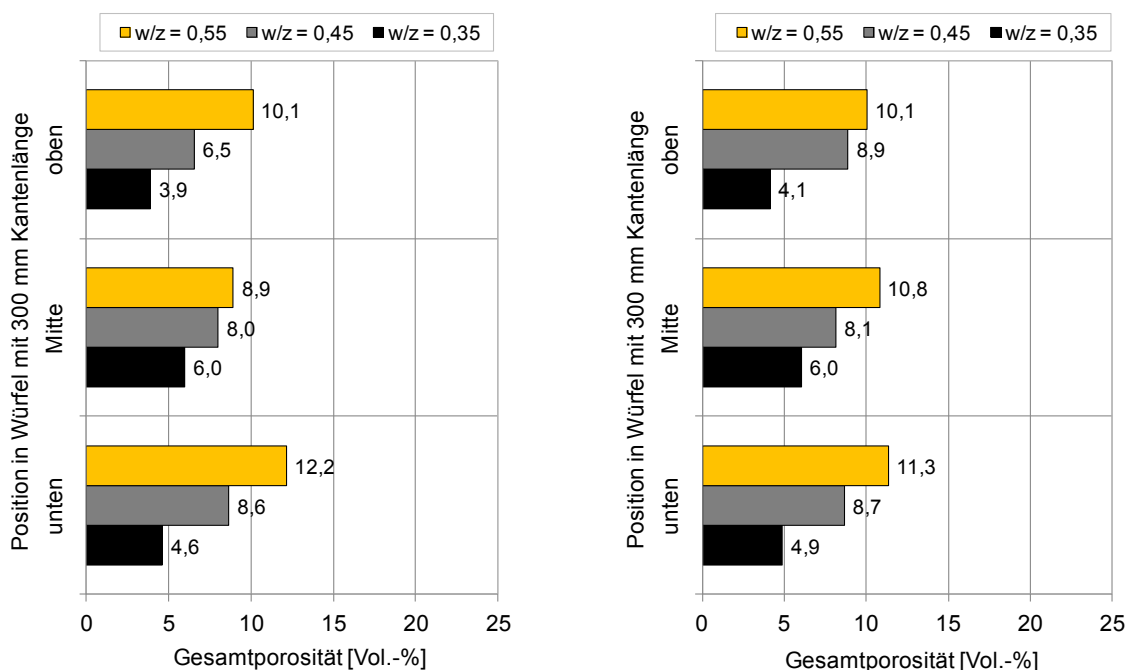


Abbildung A 75 Tiefenaufgelöste Gesamtporosität mittels Hg-Porosimetrie am Granulat (links) und an Miniaturzylindern (rechts) der 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach Nebelkammerlagerung bei 40 °C

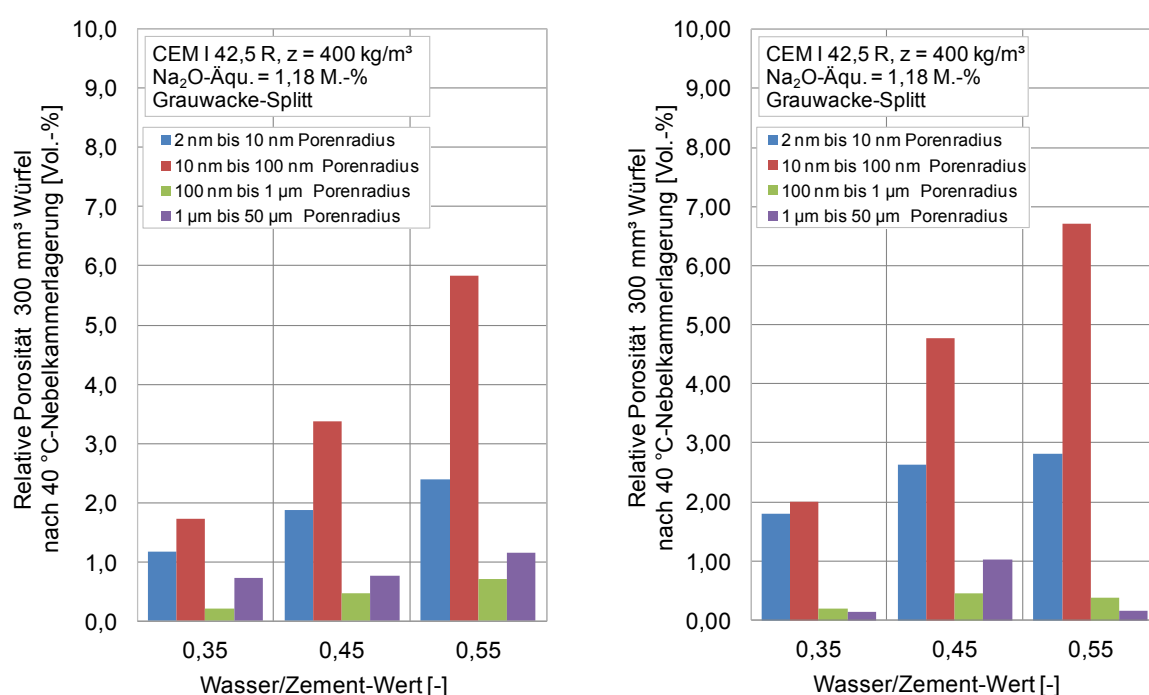


Abbildung A 76 Porenradienverteilung mittels Hg-Porosimetrie am Granulat (links) und an Miniaturzylindern (rechts) im oberen Bereich des 300 mm³-Betonwürfels mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach Nebelkammerlagerung bei 40 °C

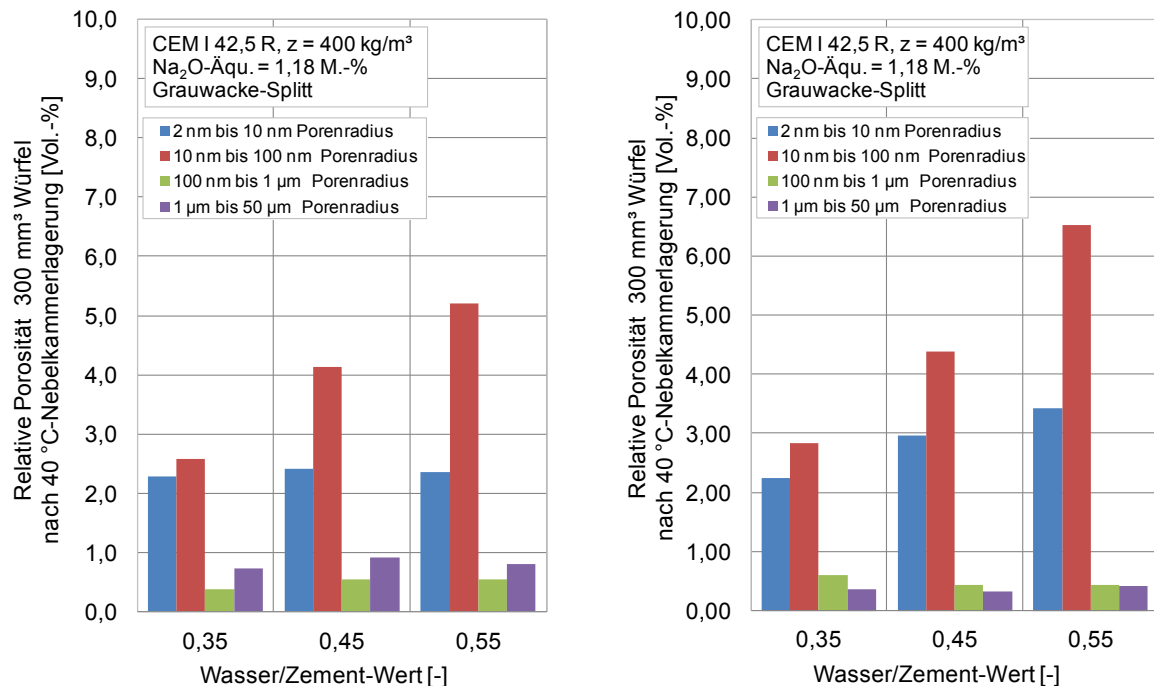


Abbildung A 77 Porenradienverteilung mittels Hg-Porosimetrie am Granulat (links) und an Miniaturzylindern (rechts) im mittleren Bereich des 300 mm³-Betonwürfels mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach Nebelkammerlagerung bei 40 °C

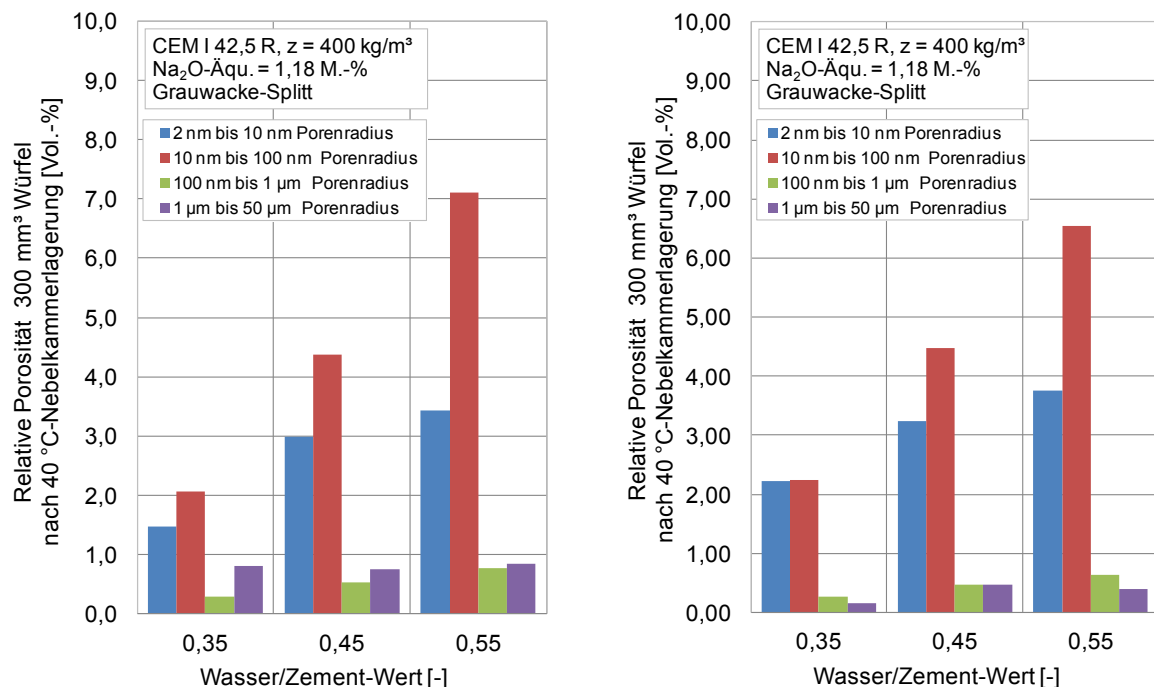


Abbildung A 78 Porenradienverteilung mittels Hg-Porosimetrie am Granulat (links) und an Miniaturzylindern (rechts) im unteren Bereich des 300 mm³-Betonwürfels mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert nach Nebelkammerlagerung bei 40 °C

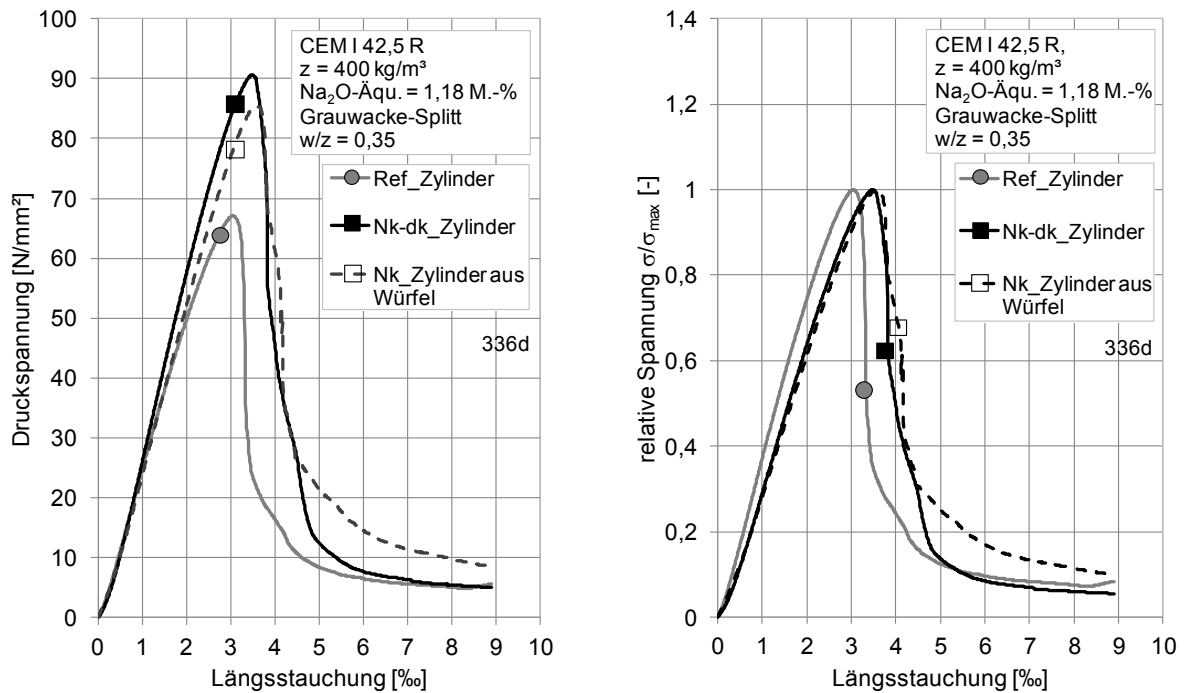


Abbildung A 79 Einfluss der Probekörpergeometrie während 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z -Wert von 0,35

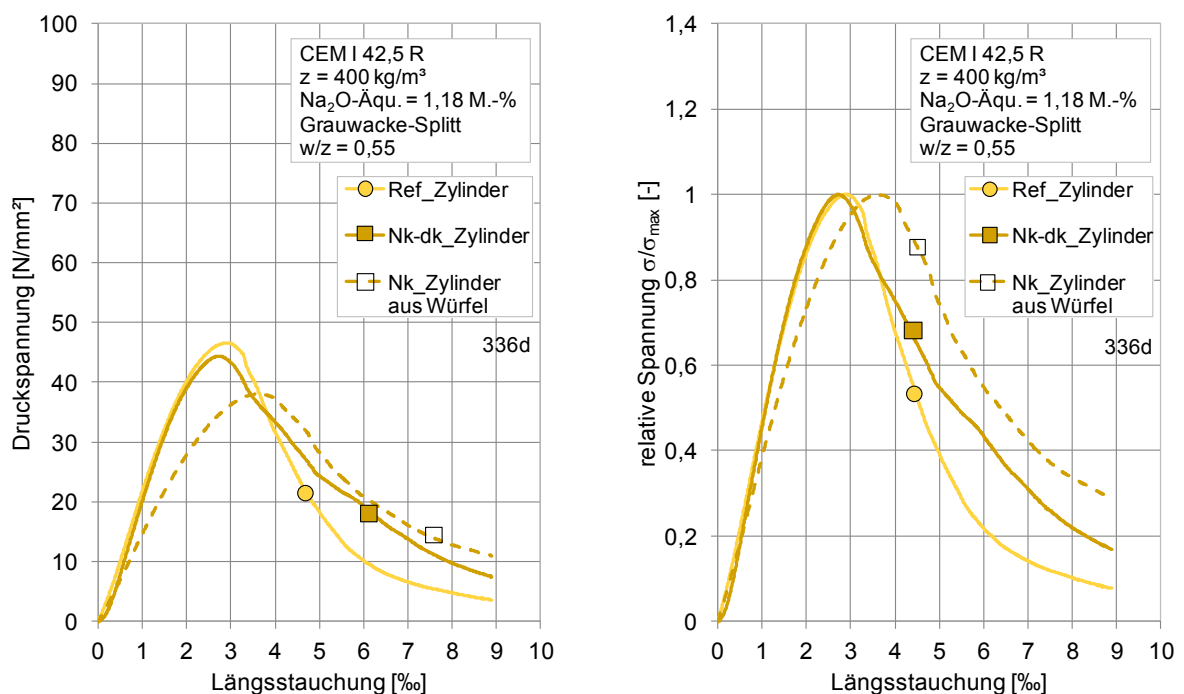


Abbildung A 80 Einfluss der Probekörpergeometrie bei 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z -Wert von 0,55

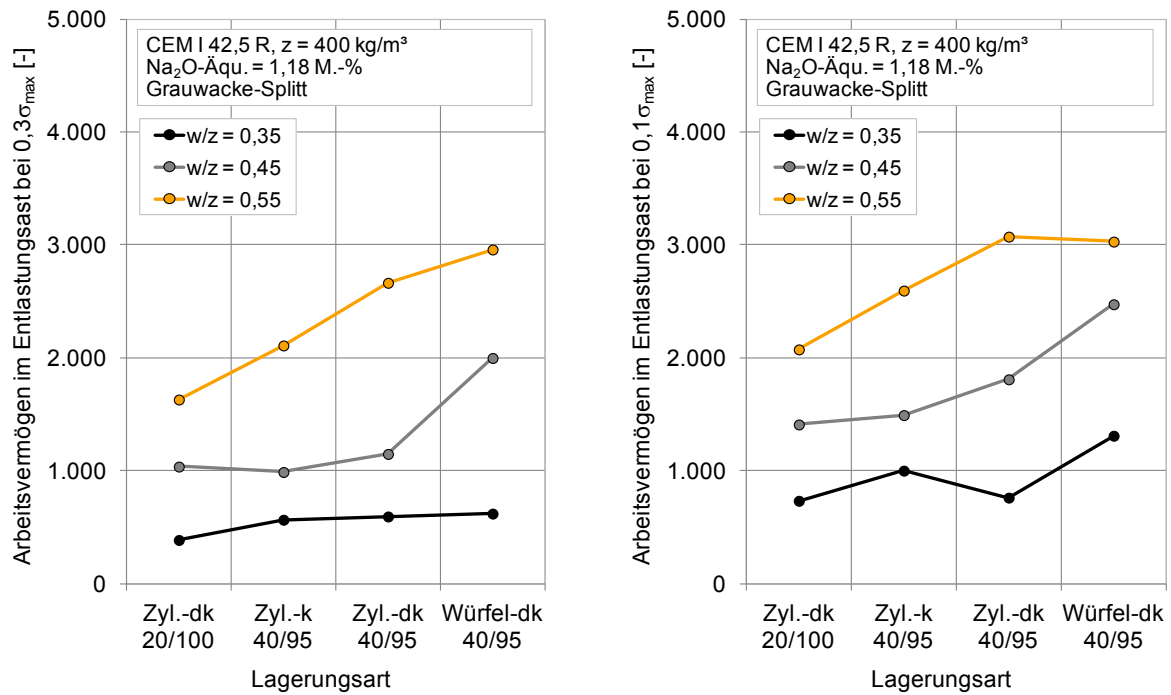


Abbildung A 81 Einfluss der Probekörpergeometrie bei 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 30 % (links) und 10 % (rechts) der maximalen Druckspannung - von Beton mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z-Wert im Alter von 336 Tagen

60 °C-Betonversuch

- Masse, Dehnung (manuelle Messung) und dynamischer E-Modul (aus Eigenschwingzeitmessung) von Betonbalken (75 x 75 x 280 [mm]) und Betonzylindern (Ø 70 mm, L 280 mm)

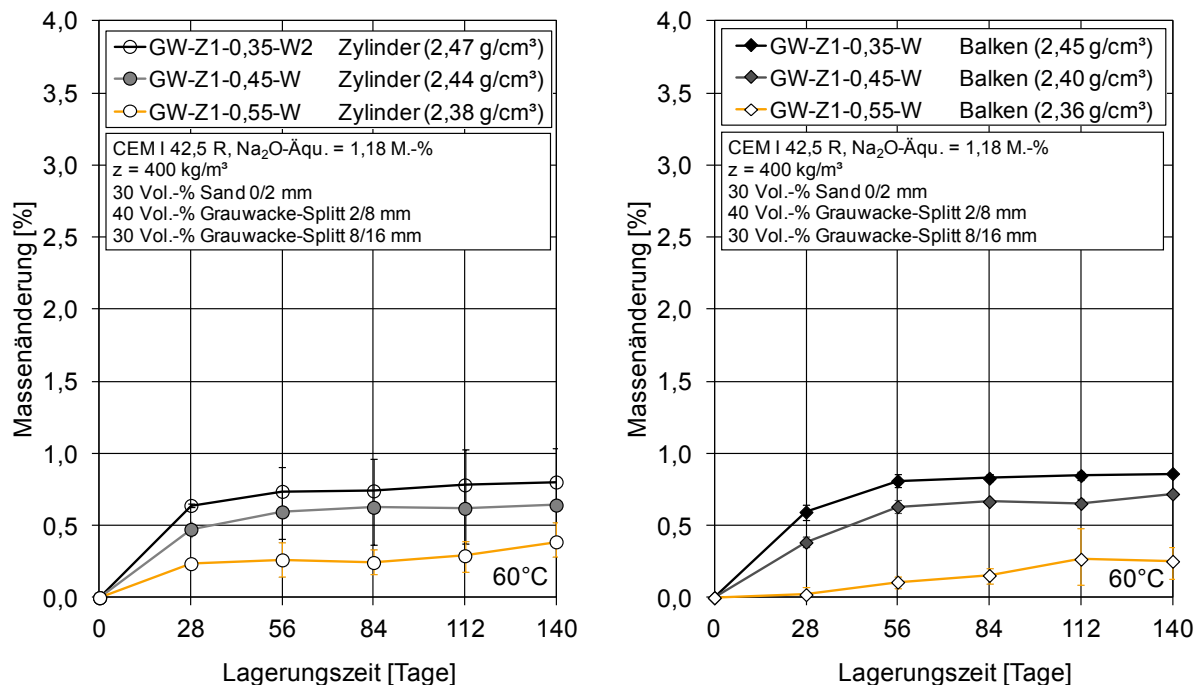


Abbildung A 82 Masse von Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm (links) und Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm (rechts) mit Grauwacke-Splitt im 60 °C-Betonversuch über Wasser

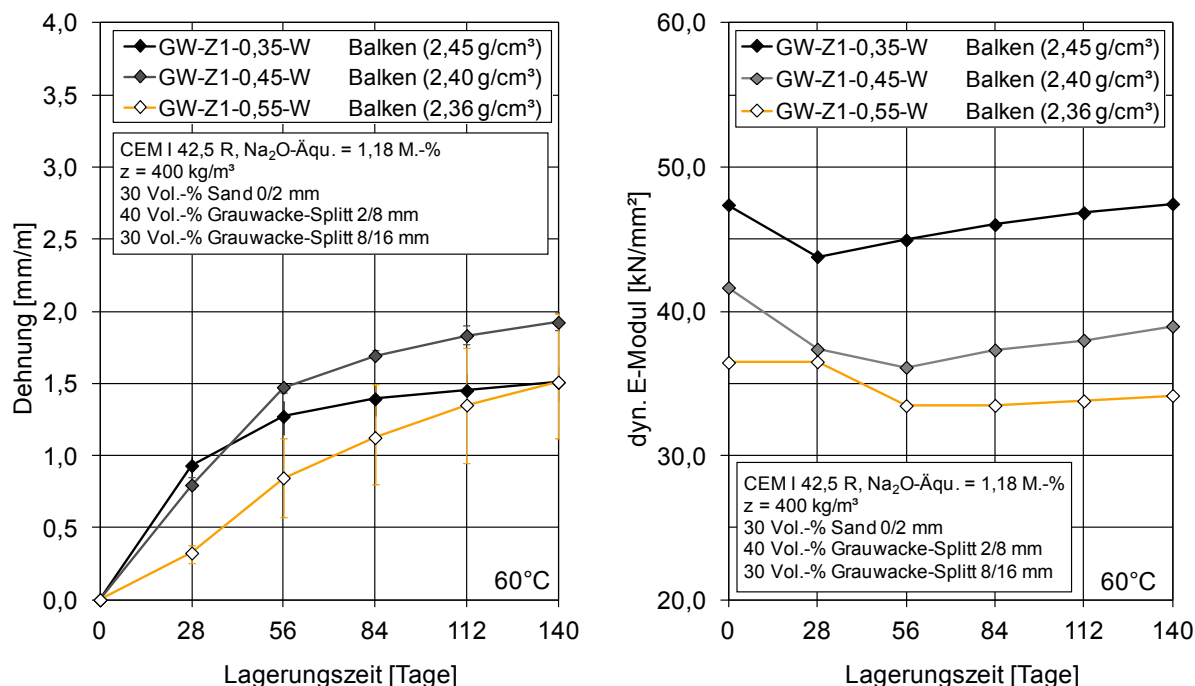


Abbildung A 83 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) von Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm mit Grauwacke-Splitt im 60 °C-Betonversuch über Wasser

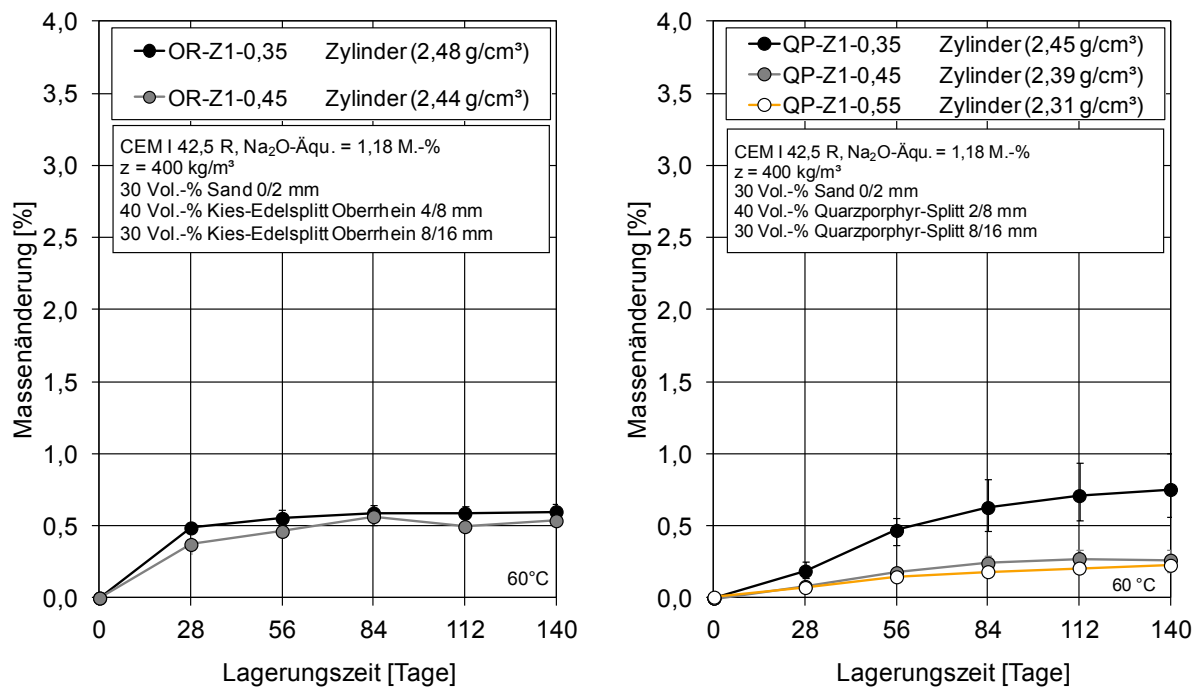


Abbildung A 84 Masse von Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein (links) und Quarzporphyr-Splitt (rechts) im 60 °C-Betonversuch über Wasser

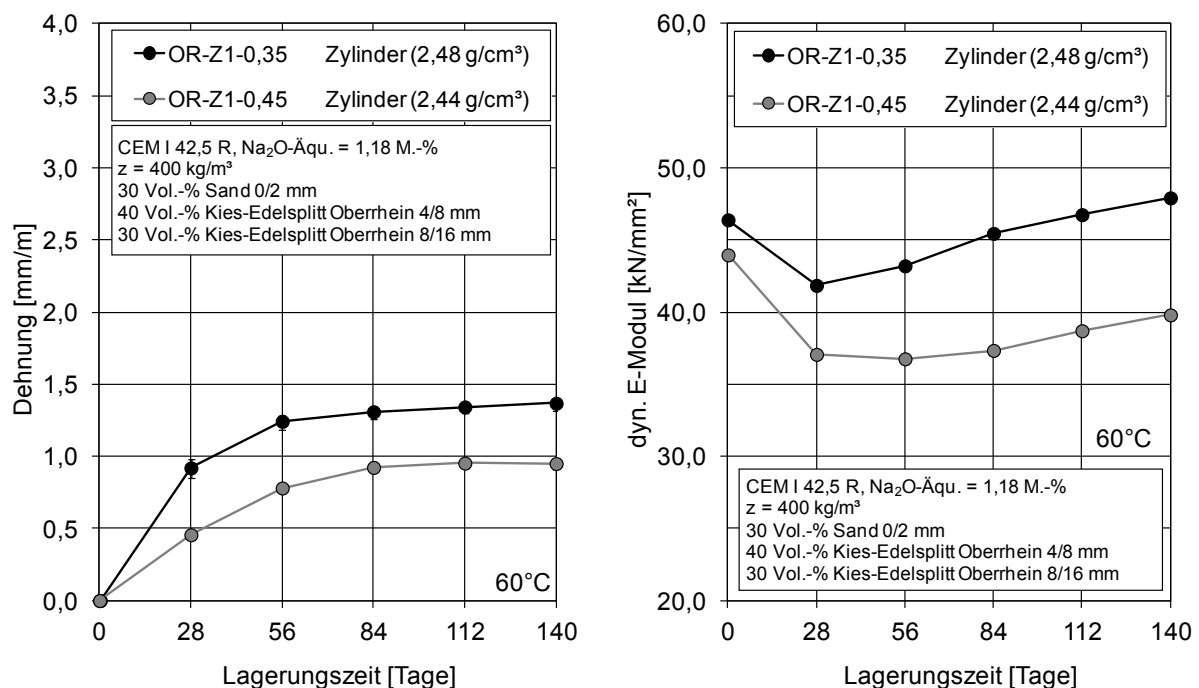


Abbildung A 85 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) der Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein im 60 °C-Betonversuch über Wasser

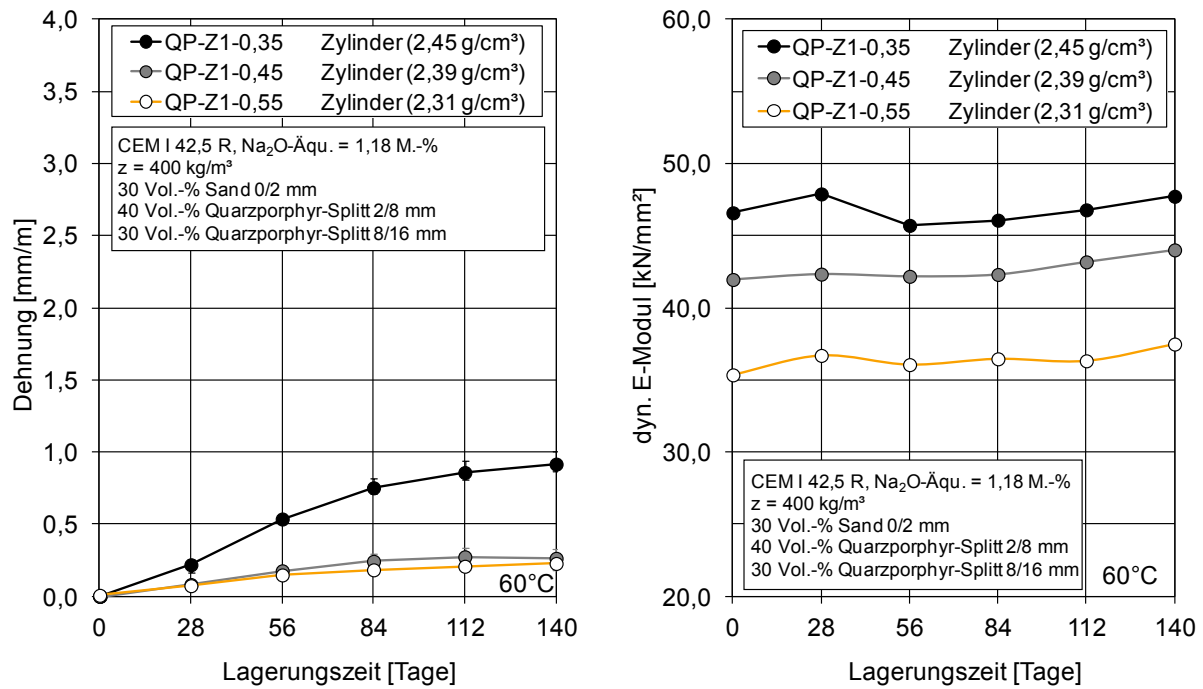


Abbildung A 86 Dehnung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) von Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Quarzporphyr-Splitt im 60 °C-Betonversuch über Wasser

➤ Mikroskopische Ergebnisse

Probe: GW-Z1-0,35-W2-1 Zylinder 4 nach 60 °C-Betonversuch – Detail 3

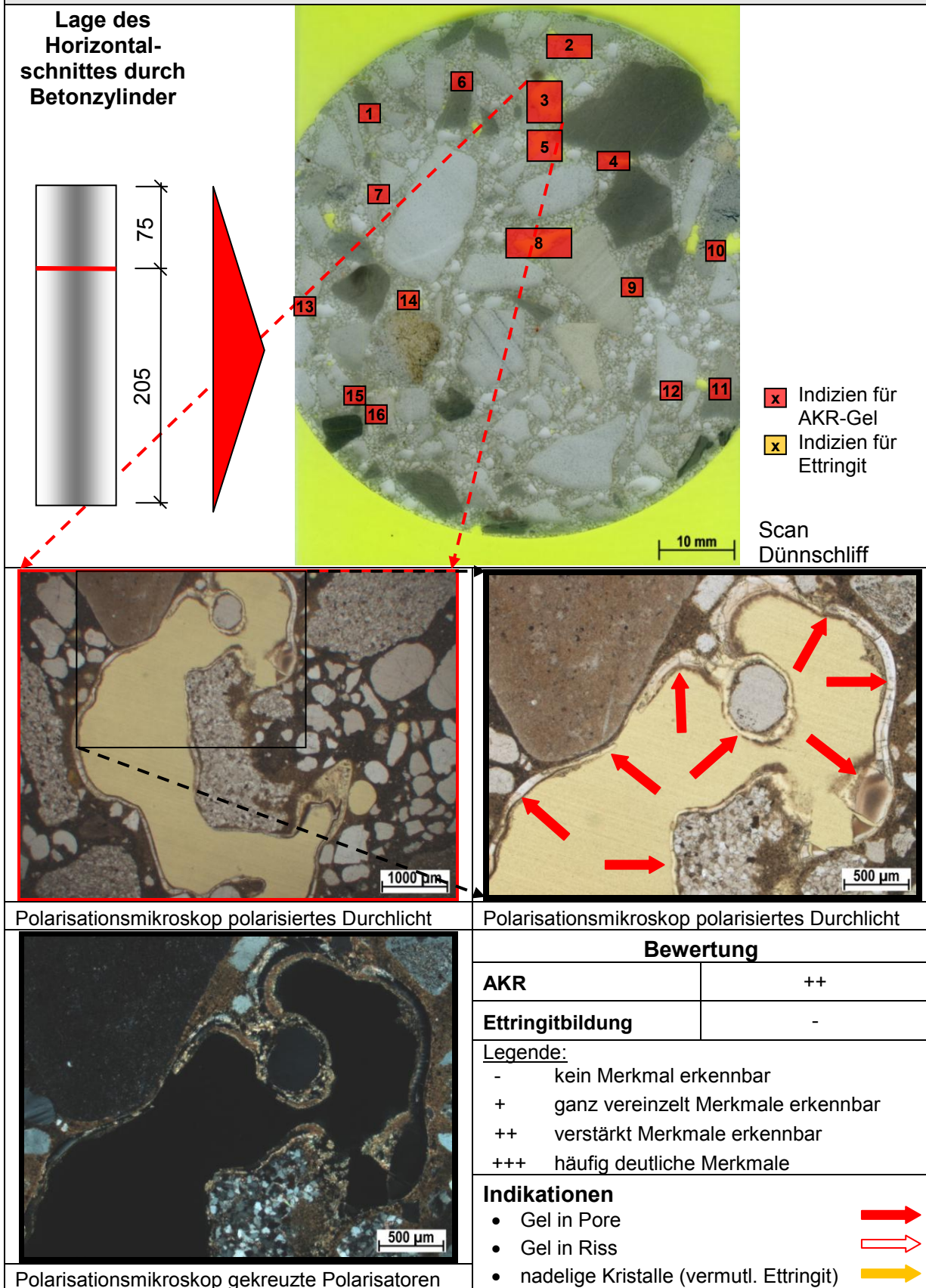
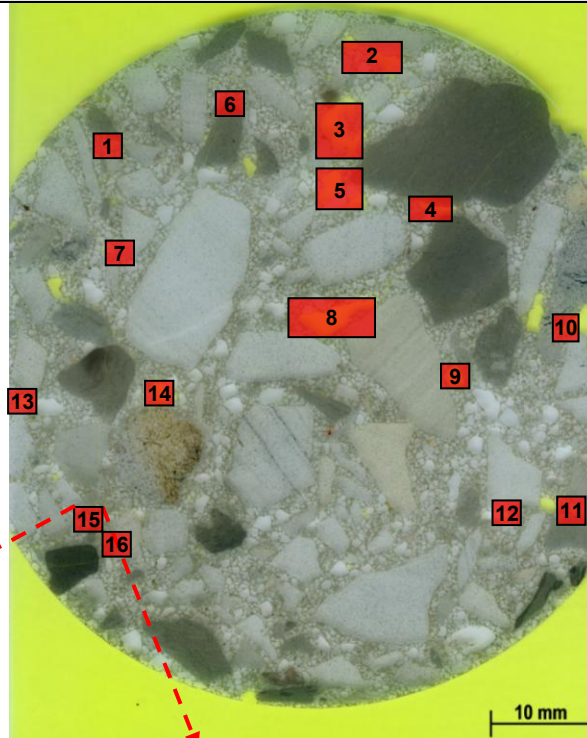
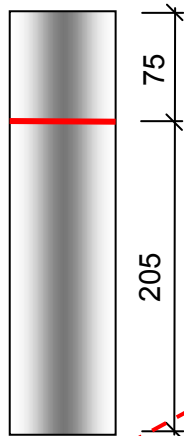


Abbildung A 87 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt des diskontinuierlich gelagerten Zylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,35; Porenwandung mit AKR-Gel belegt

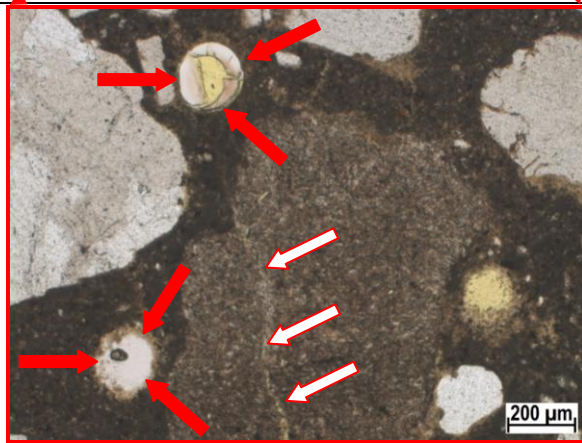
Probe: GW-Z1-0,35-W2-1 Zylinder 4 nach 60 °C-Betonversuch – Detail 15

Lage des
Horizontal-
schnittes durch
Betonzylinder

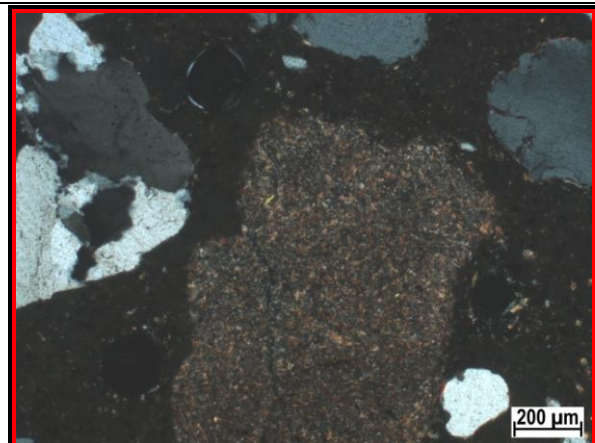


x Indizien für
AKR-Gel
x Indizien für
Ettringit

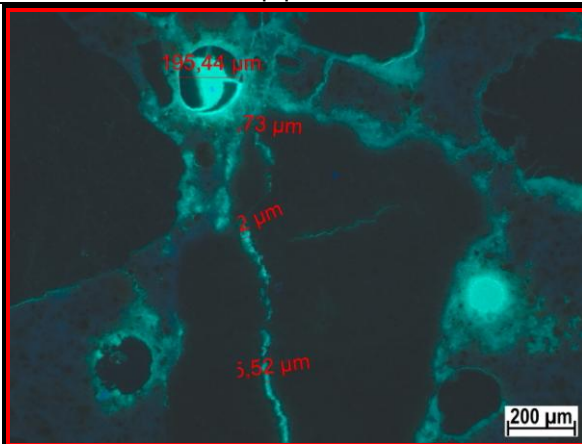
Scan
Dünnschliff



Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht



Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht



Polarisationsmikroskop gekreuzte Polarisatoren

Bewertung

AKR	++
Ettringitbildung	-

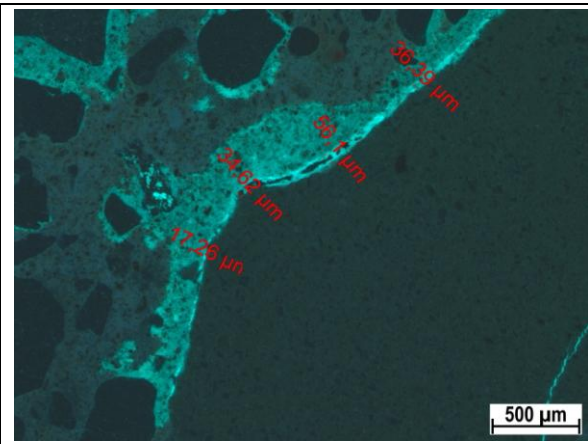
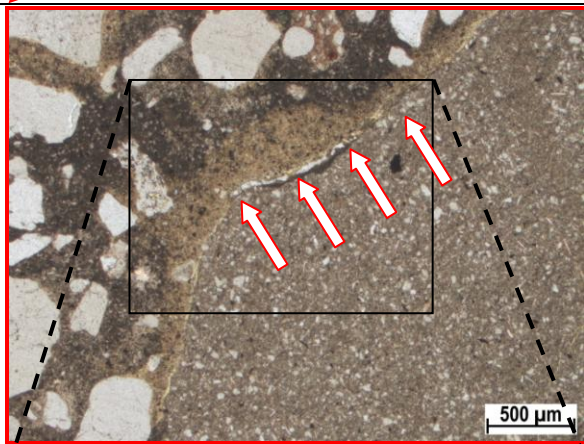
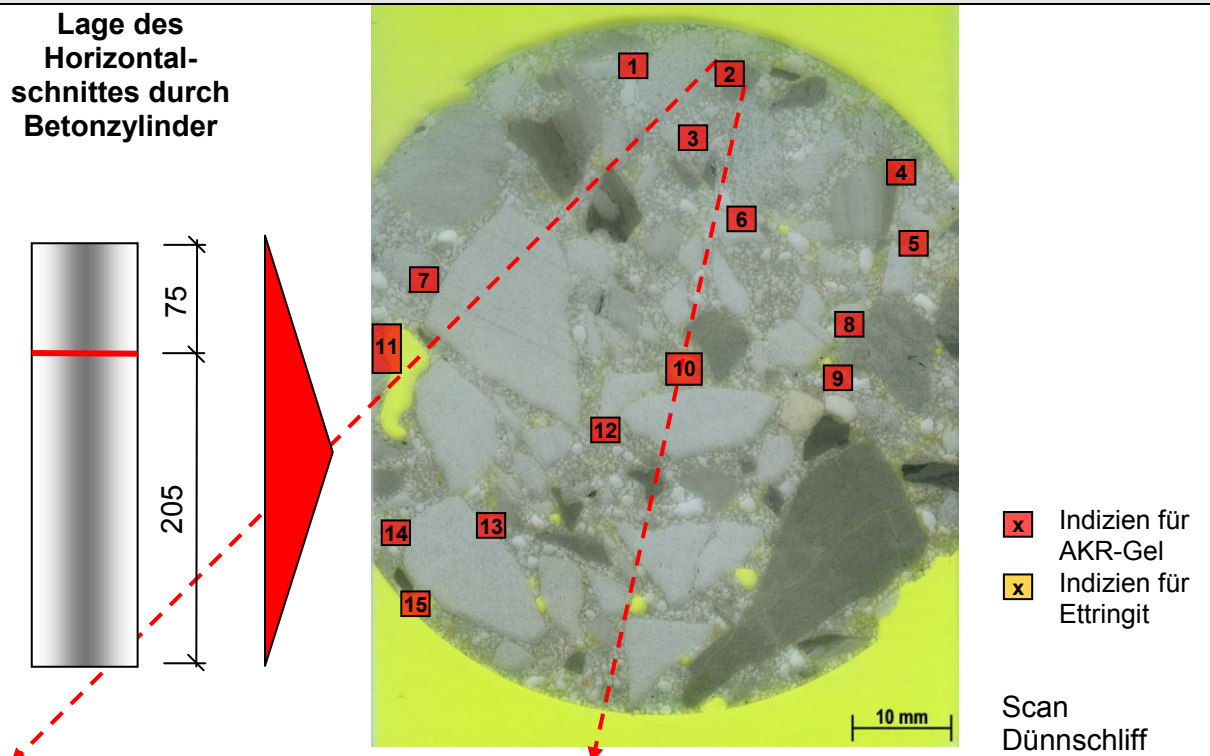
Legende:

- kein Merkmal erkennbar
- + ganz vereinzelt Merkmale erkennbar
- ++ verstärkt Merkmale erkennbar
- +++ häufig deutliche Merkmale

Indikationen

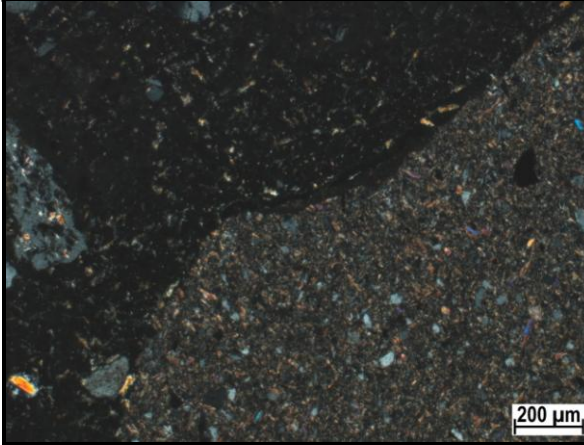
- Gel in Pore →
- Gel in Riss ⇨
- nadelige Kristalle (vermutl. Ettringit) →

Abbildung A 88 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt des diskontinuierlich gelagerten Zylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch; Beton mit Grauwacke-Splitt und $w/z = 0,35$: Poren + feine Risse tlw. mit AKR-Gel gefüllt

Probe: GW-Z1-0,45-W Zylinder 10 nach 60 °C-Betonversuch – Detail 2


1: Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht

Polarisationsmikroskop: Auflicht unter UV-Licht



Polarisationsmikroskop gekreuzte Polarisatoren

Bewertung

AKR	++
Ettringitbildung	-

Legende:

- kein Merkmal erkennbar
- + ganz vereinzelt Merkmale erkennbar
- ++ verstärkt Merkmale erkennbar
- +++ häufig deutliche Merkmale

Indikationen

- Gel in Pore
- Gel in Riss
- nadelige Kristalle (vermutl. Ettringit)

Abbildung A 89 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt des diskontinuierlich gelagerten Zylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45: breiter Riss in ITZ AKR-gelgefüllt

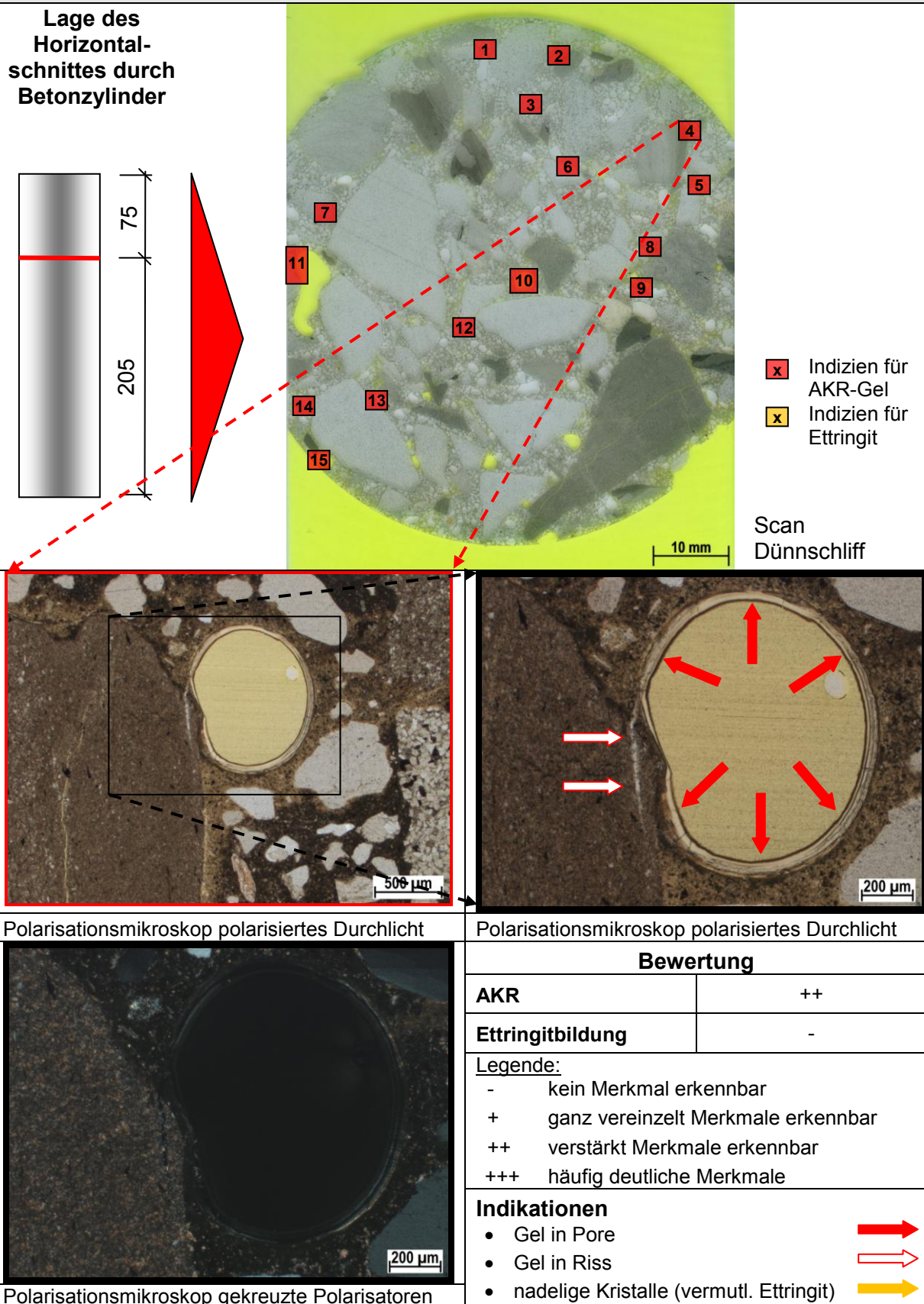
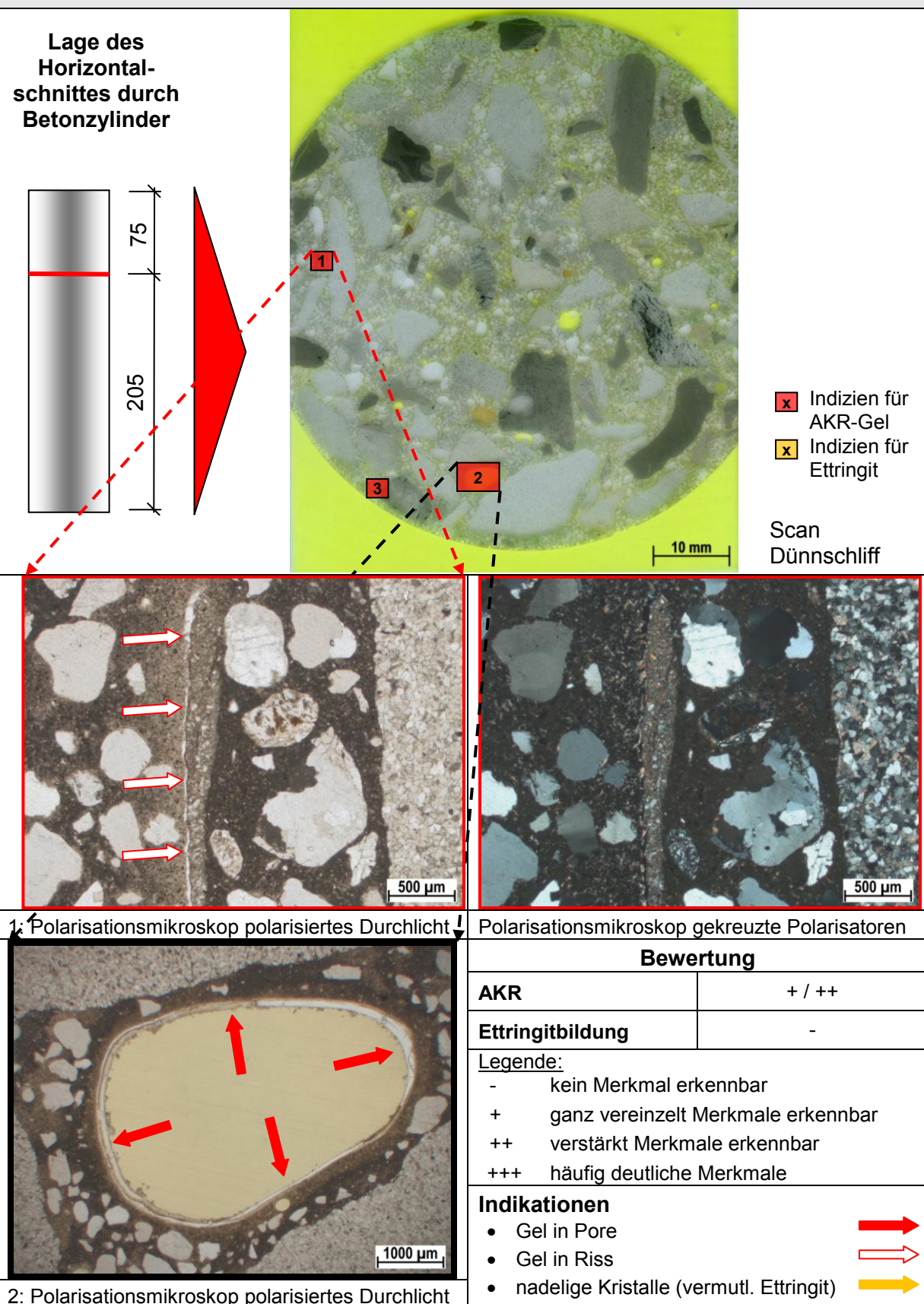
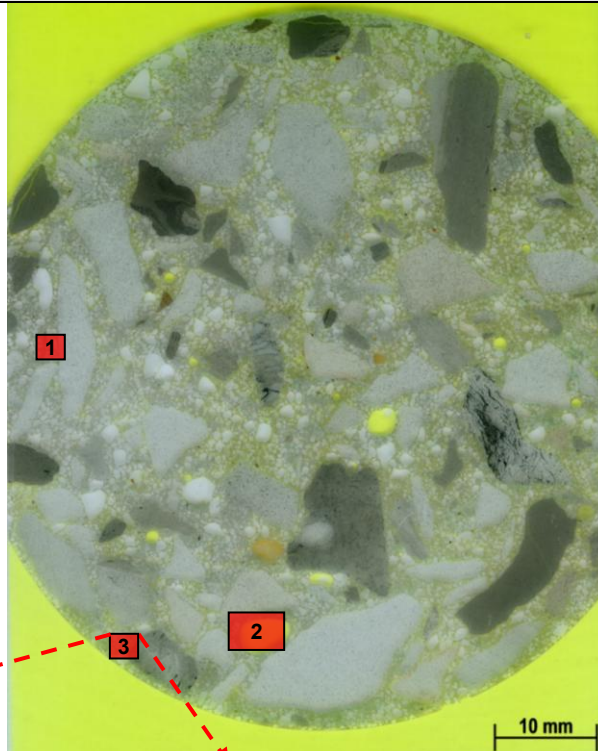
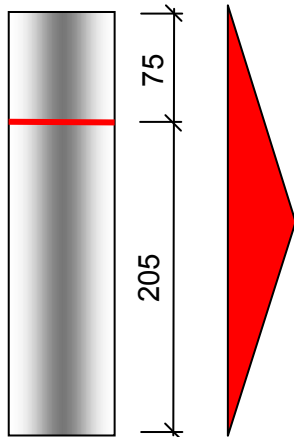
Probe: GW-Z1-0,45-W Zylinder 10 nach 60 °C-Betonversuch – Detail 4


Abbildung A 90 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt des diskontinuierlich gelagerten Zylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z = 0,45: AKR-Gel an Porenwandung + in feinem Riss

Probe: GW-Z1-0,55-W Zylinder 7 nach 60 °C-Betonversuch – Detail 1 und 2


Probe: GW-Z1-0,55-W Zylinder 7 nach 60 °C-Betonversuch – Detail 3

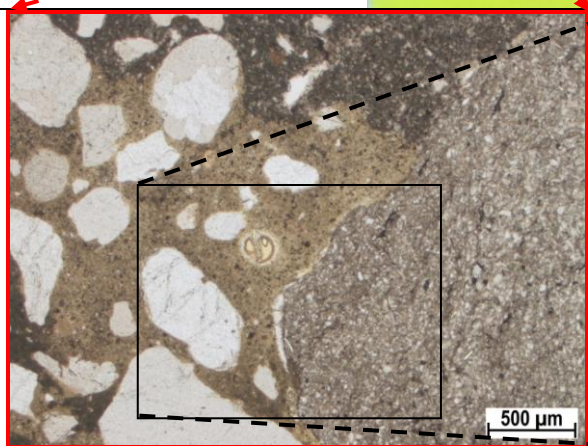
Lage des
Horizontal-
schnittes durch
Betonzylinder



x Indizien für
AKR-Gel

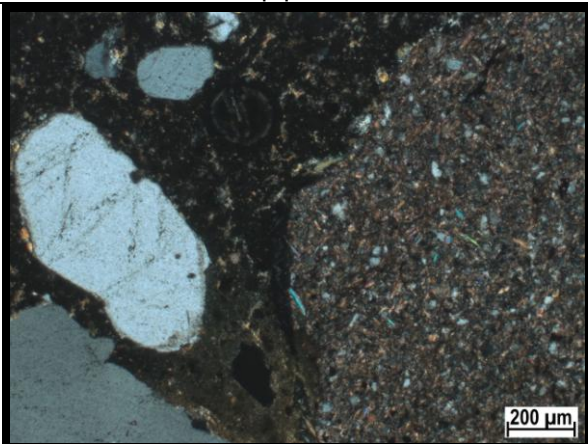
x Indizien für
Ettringit

Scan
Dünnschliff



Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht

Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht



Polarisationsmikroskop gekreuzte Polarisatoren

Bewertung

AKR	++
Ettringitbildung	-

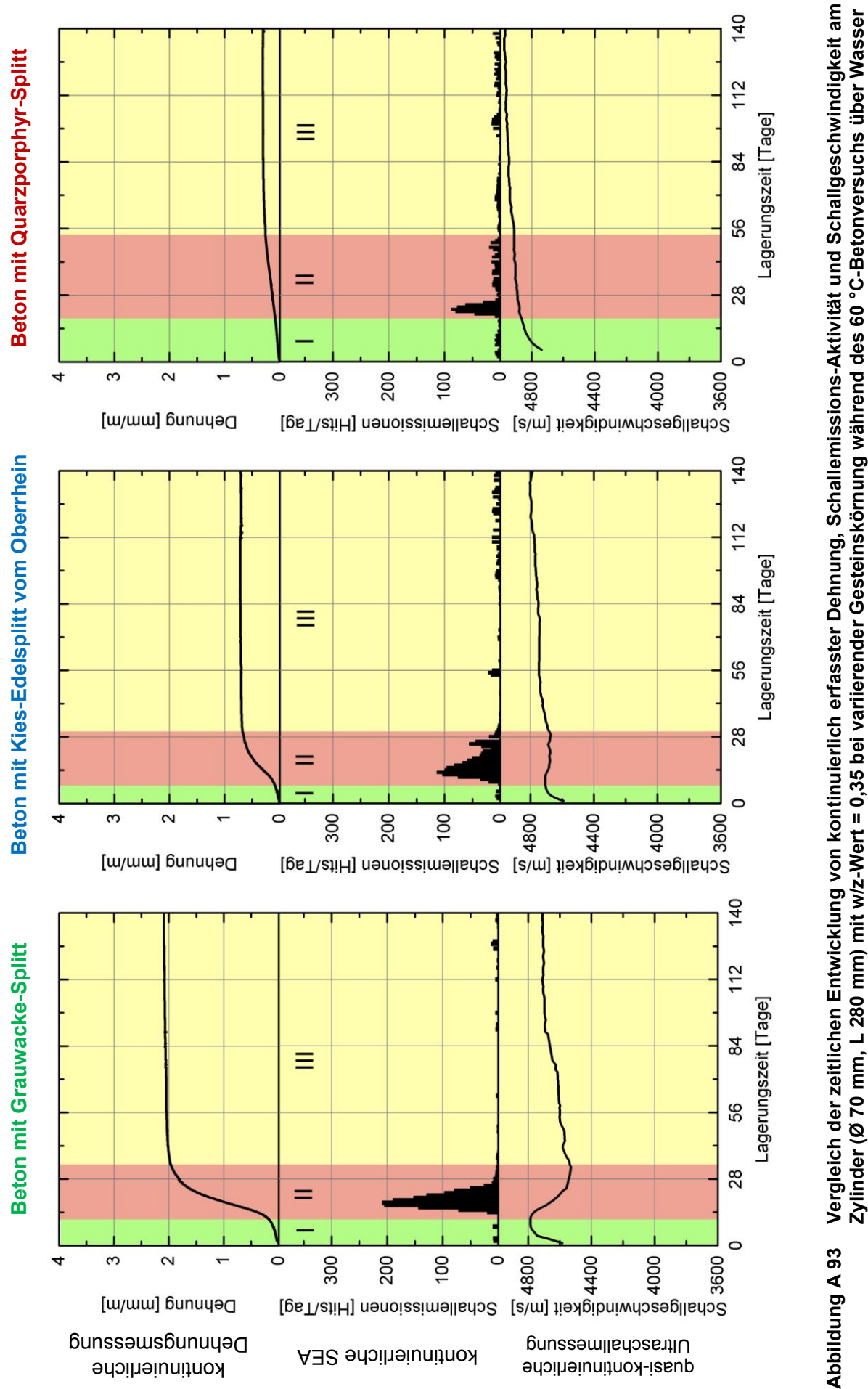
Legende:

- kein Merkmal erkennbar
- + ganz vereinzelt Merkmale erkennbar
- ++ verstärkt Merkmale erkennbar
- +++ häufig deutliche Merkmale

Indikationen

- Gel in Pore →
- Gel in Riss →
- nadelige Kristalle (vermutl. Ettringit) →

Abbildung A 92 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt des diskontinuierlich gelagerten Zylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55: AKR-Gel in ITZ und Pore



- Ergebnisse mittels μ -3D-CT zur räumlichen und zeitlichen Visualisierung der Risse, etc.

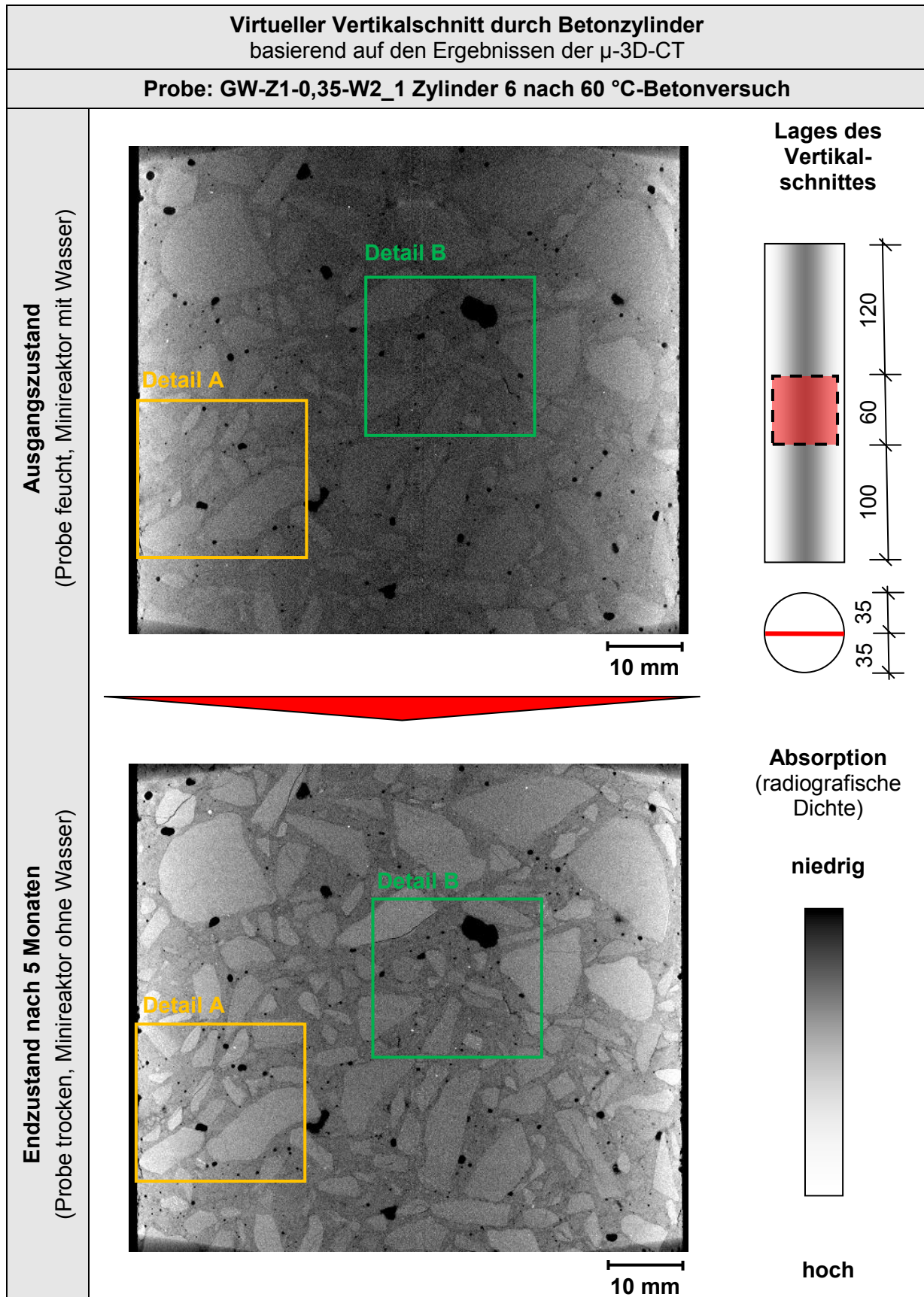


Abbildung A 94 Visualisierung des inneren Gefügezustandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,35 vor und nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT

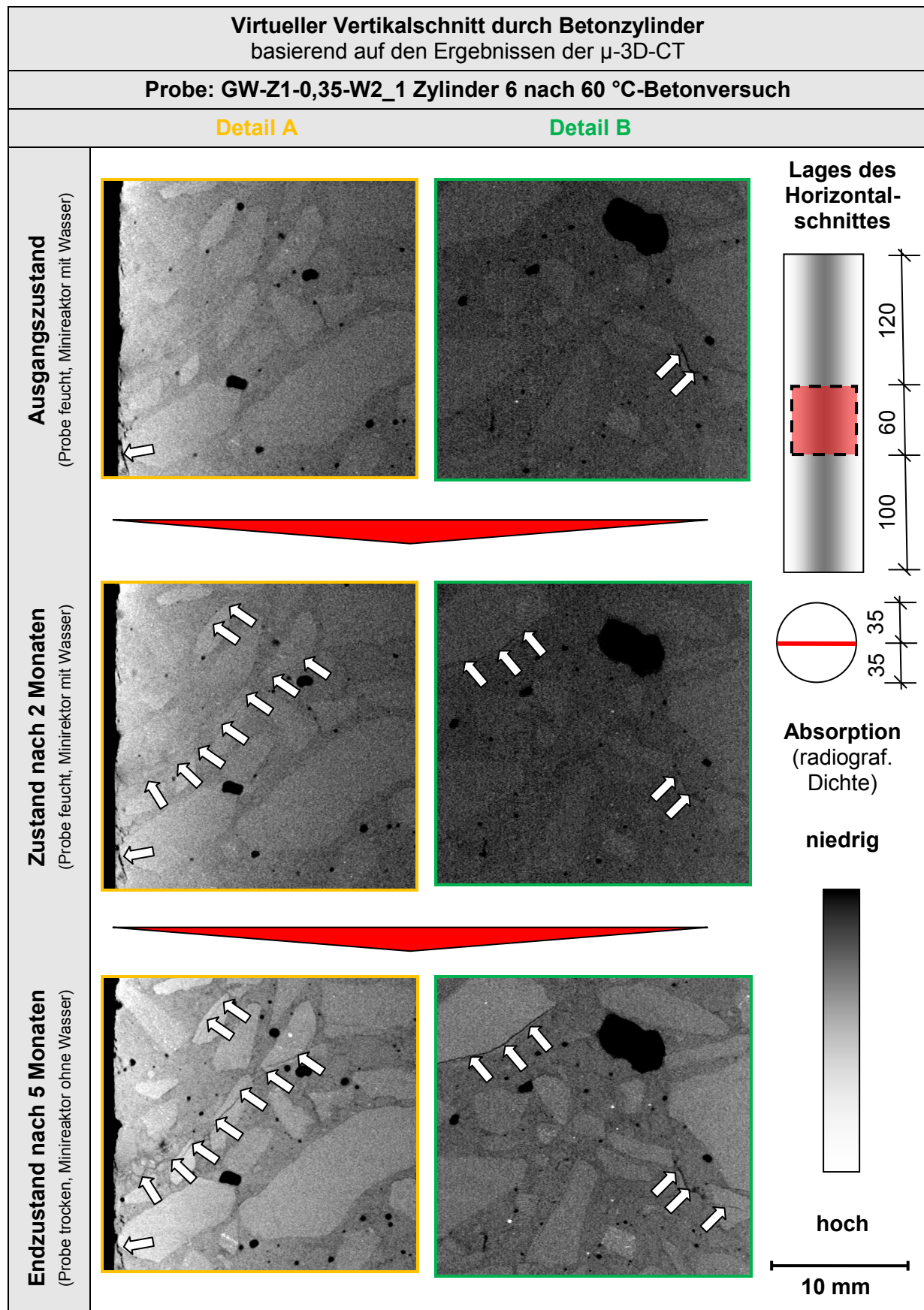


Abbildung A 95 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,35 vor und nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT: Details A und B

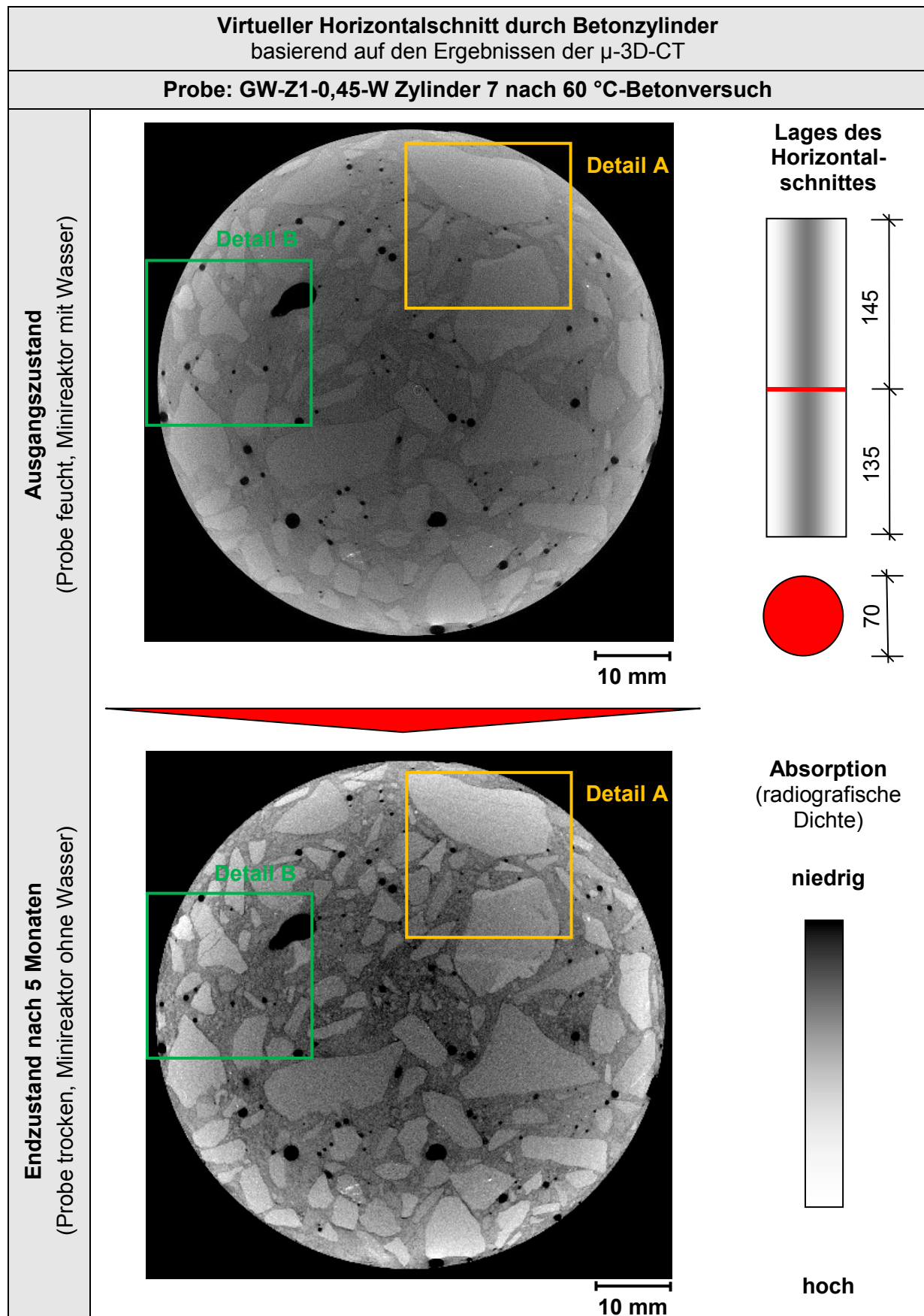


Abbildung A 96 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45 vor, während und nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT

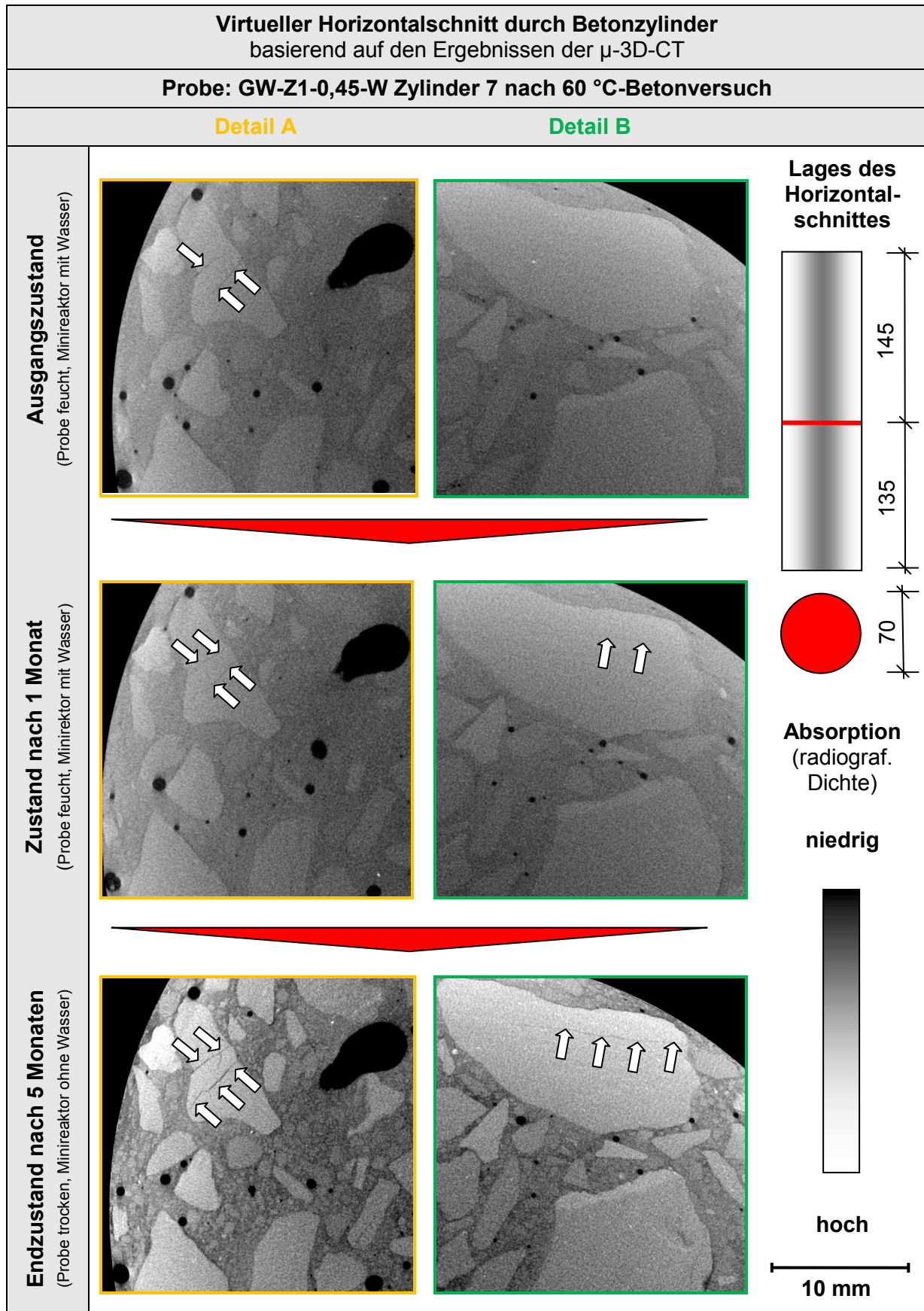


Abbildung A 97 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45 vor, während und nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT: Detail A und B

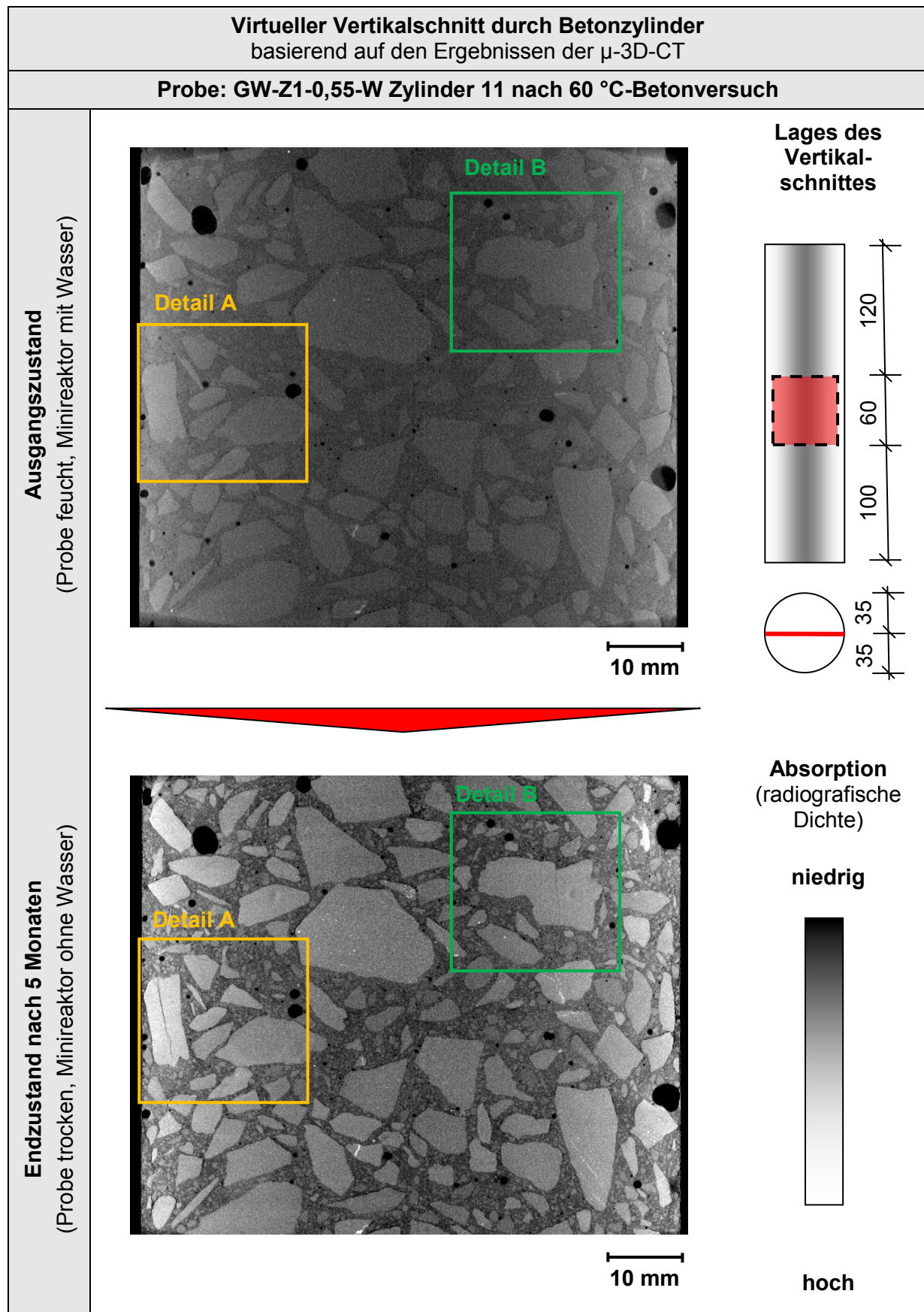


Abbildung A 98 Visualisierung des inneren Gefügezustandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55 vor und nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT

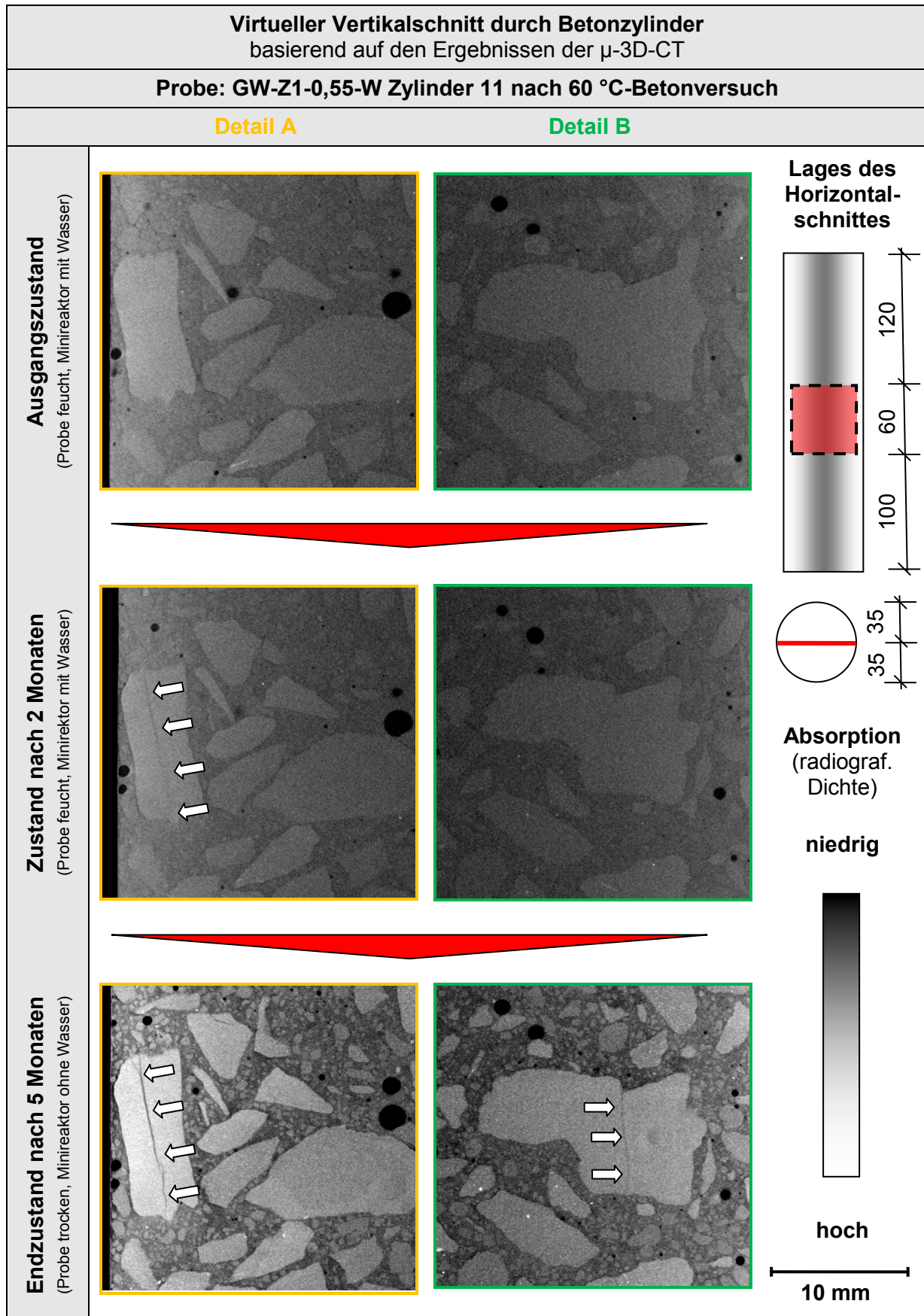


Abbildung A 99 Visualisierung des inneren Gefügezustandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55 vor und nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT: Details A und B

➤ Mikroskopische Ergebnisse

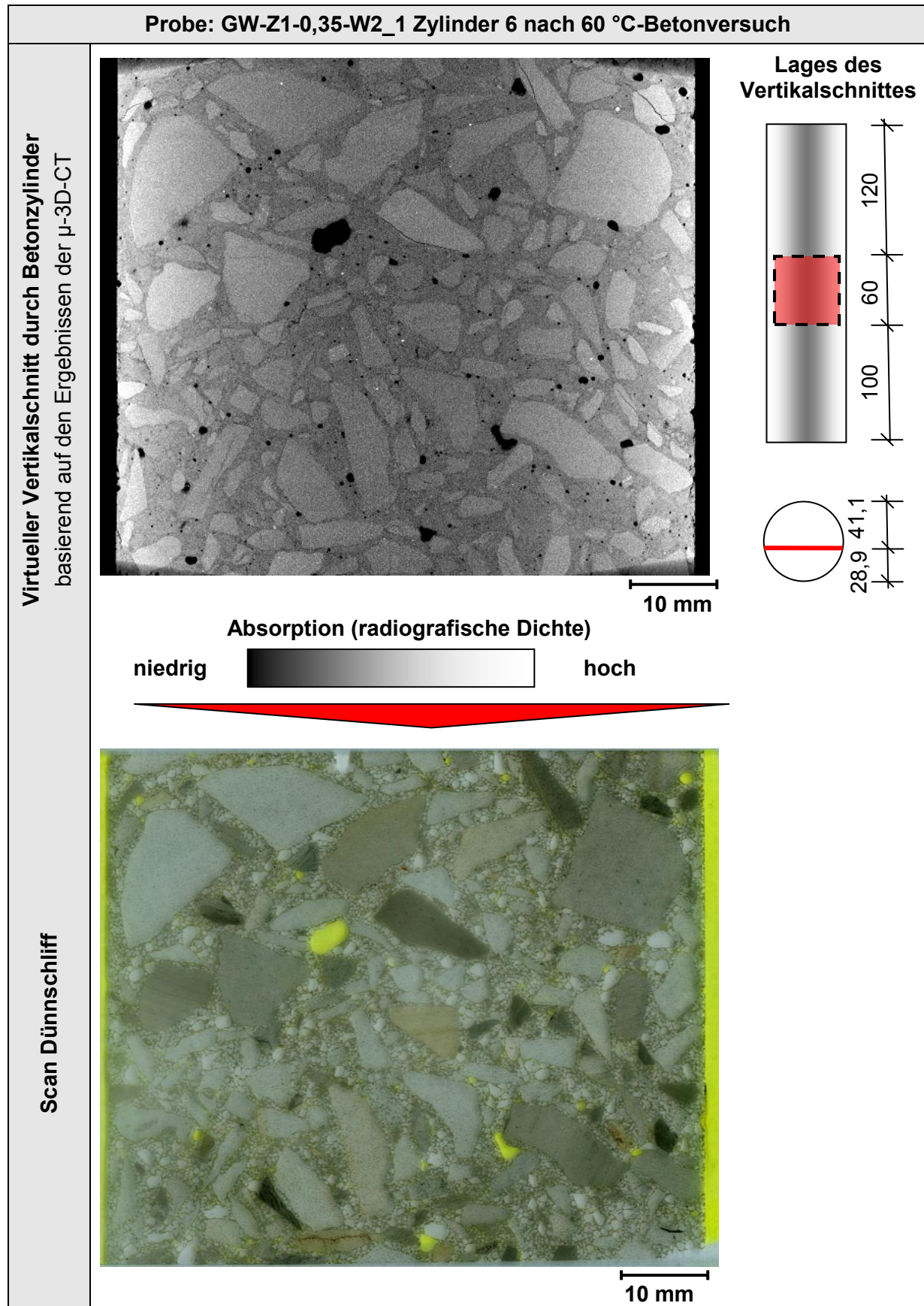


Abbildung A 100 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Zylinders (\varnothing 70 mm, l 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,35

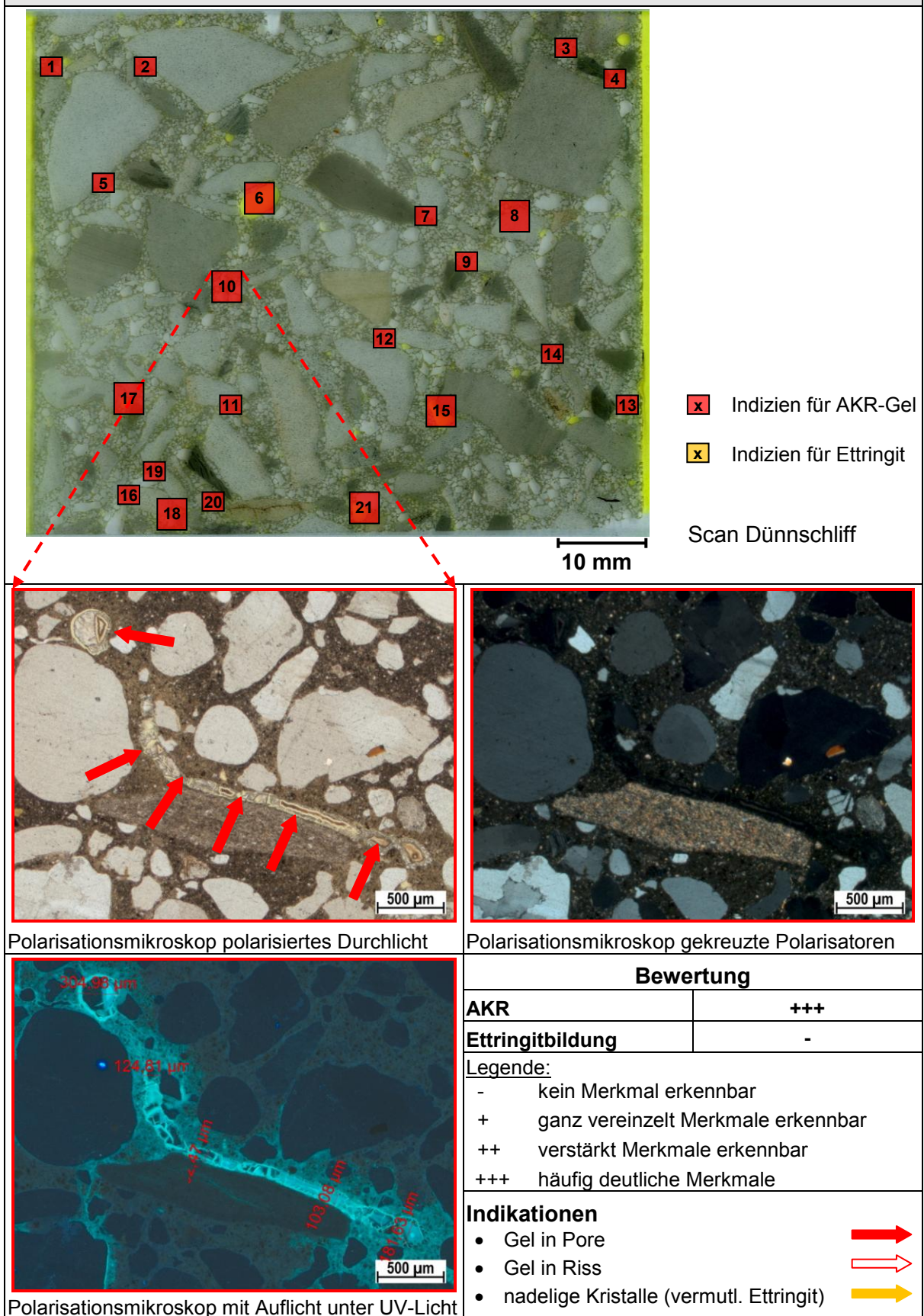
Probe: GW-Z1-0,35-W2_1 Zylinder 6 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 10


Abbildung A 101 Dünnschliffuntersuchung Vertikalschnitt Beton mit Grauwacke-Splitt + w/z-Wert von 0,35 nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Detail 10: Pore und Riss mit AKR-Gel gefüllt

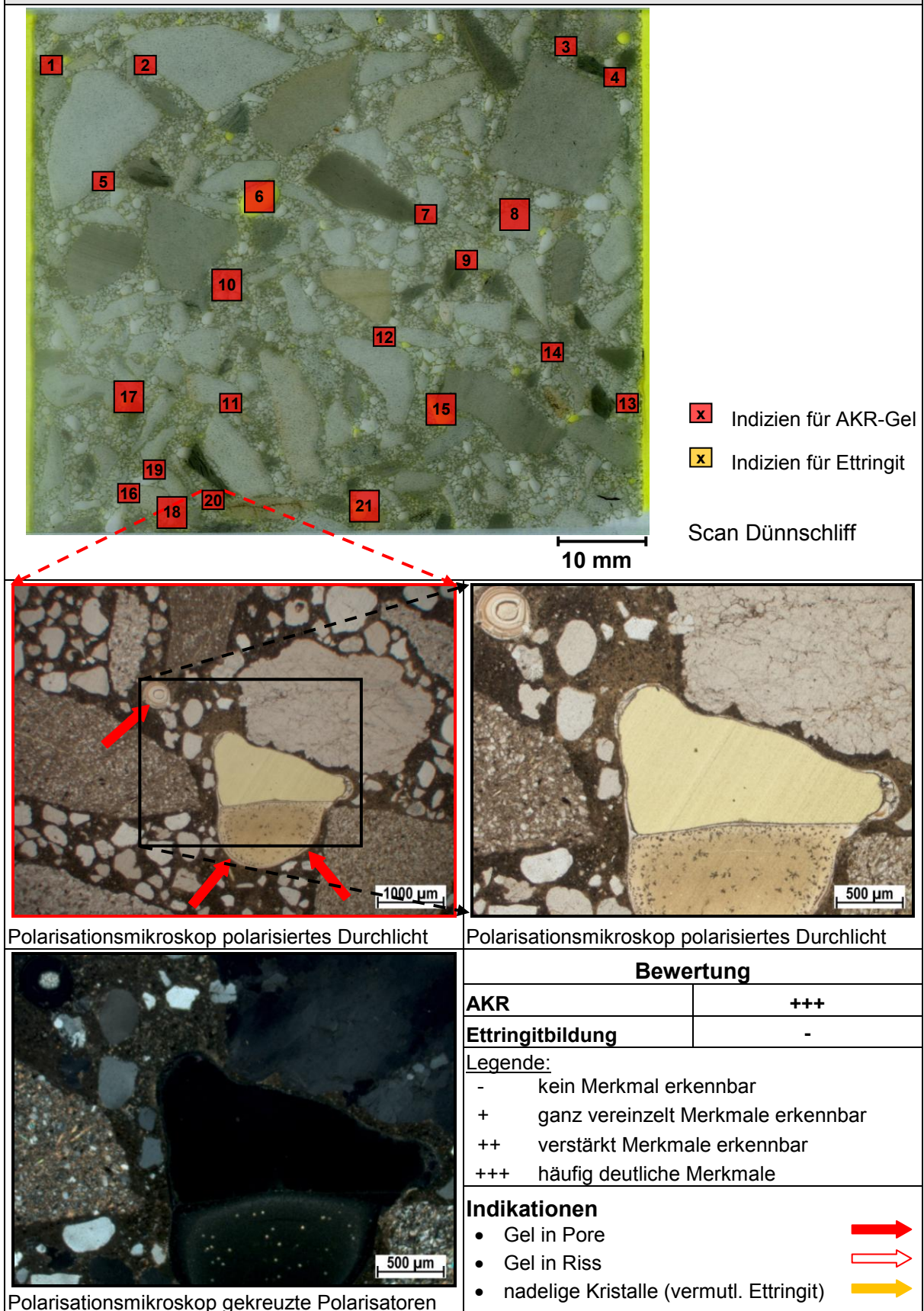
Probe: GW-Z1-0,35-W2_1 Zylinder 6 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 20


Abbildung A 102 Dünnschliffuntersuchung Vertikalschnitt Beton mit Grauwacke-Splitt + w/z-Wert von 0,35 nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Detail 20: große Pore mit AKR-Gel gefüllt

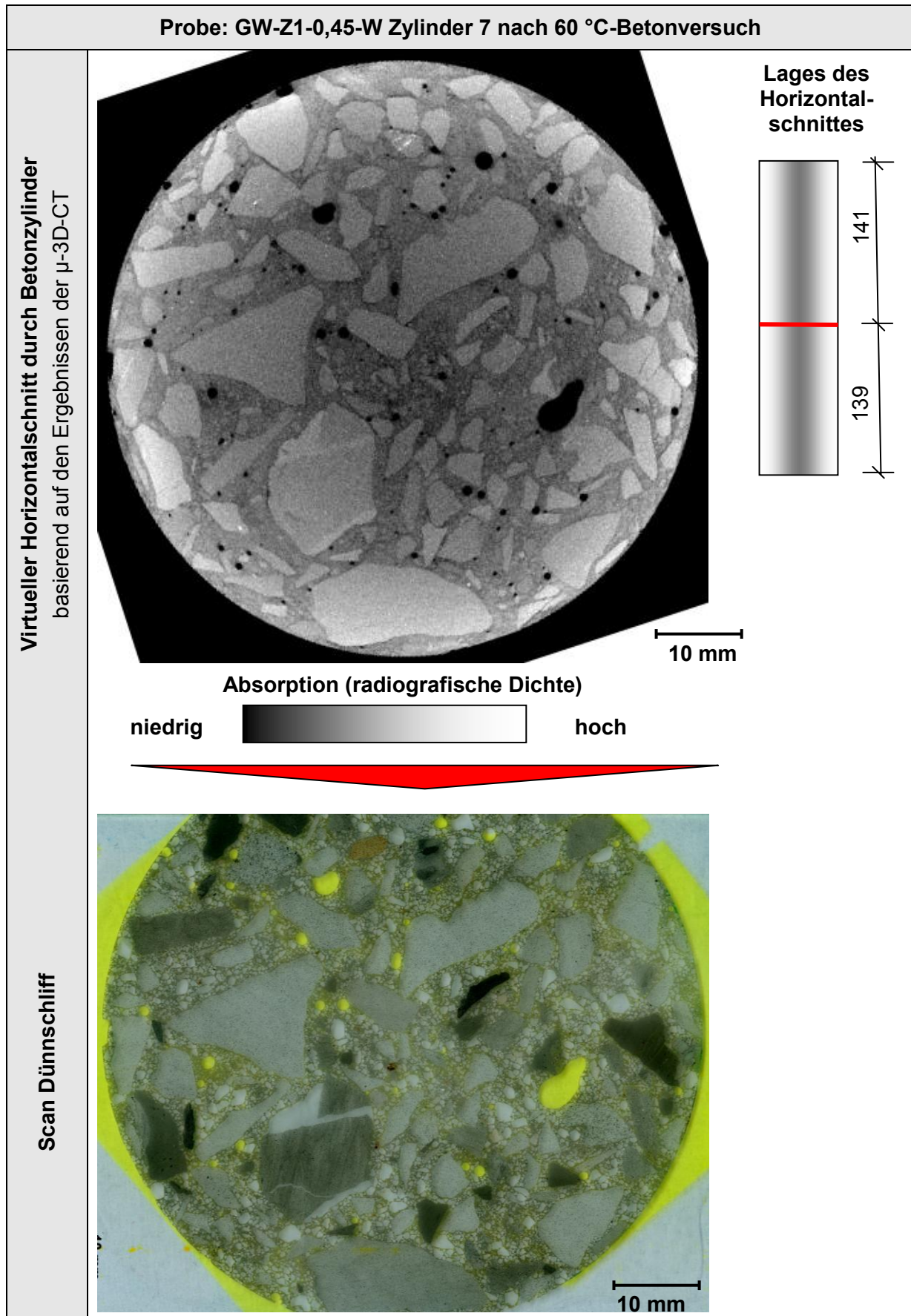


Abbildung A 103 Dünnschliffuntersuchung am Horizontalschnitt Zylinder (\varnothing 70 mm, L 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45

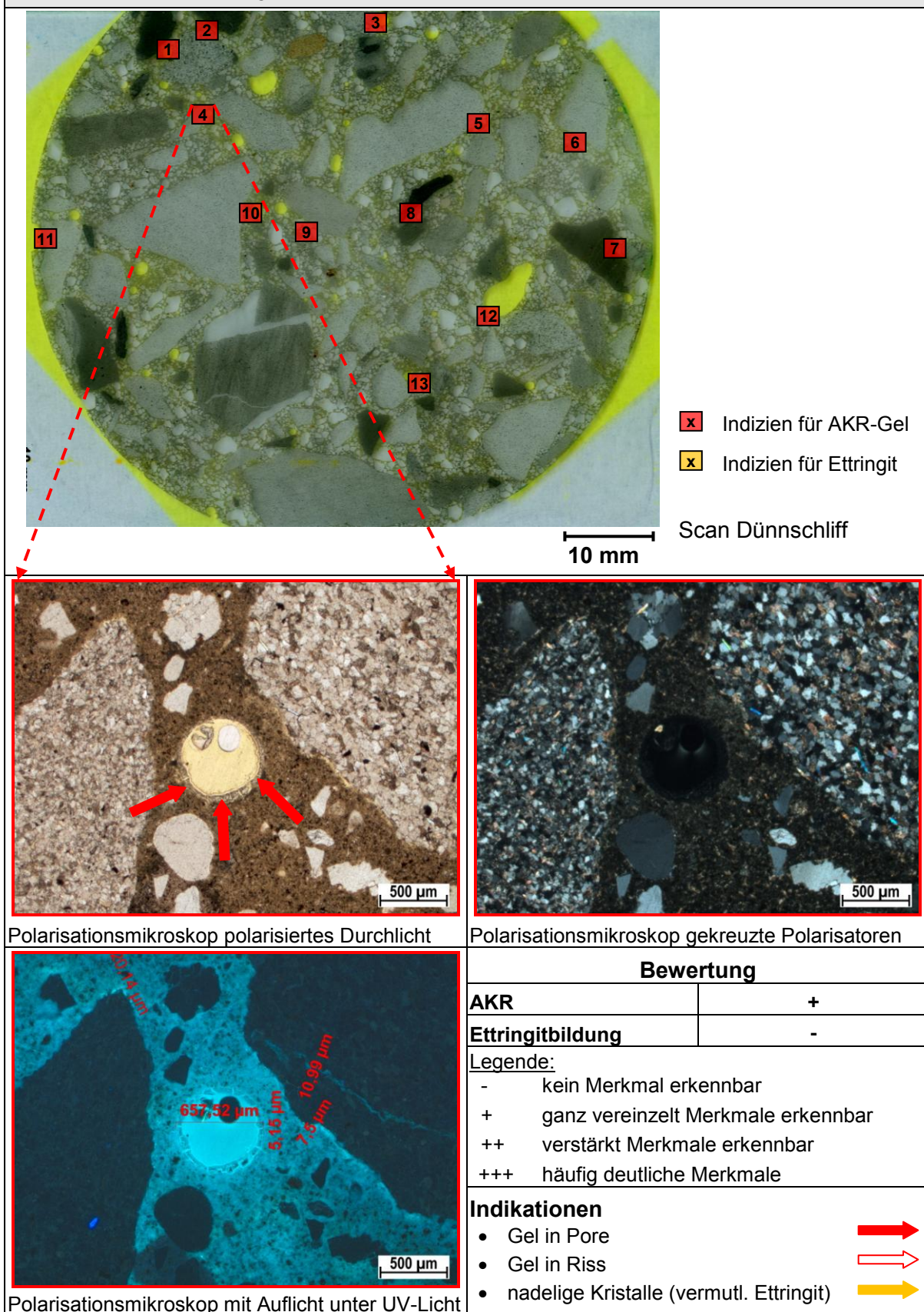
Probe: GW-Z1-0,45-W Zylinder 7 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 4


Abbildung A 104 Dünnschliffuntersuchung Horizontalschnitt von Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45 nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Detail 4: AKR-Gel an Porenwandung

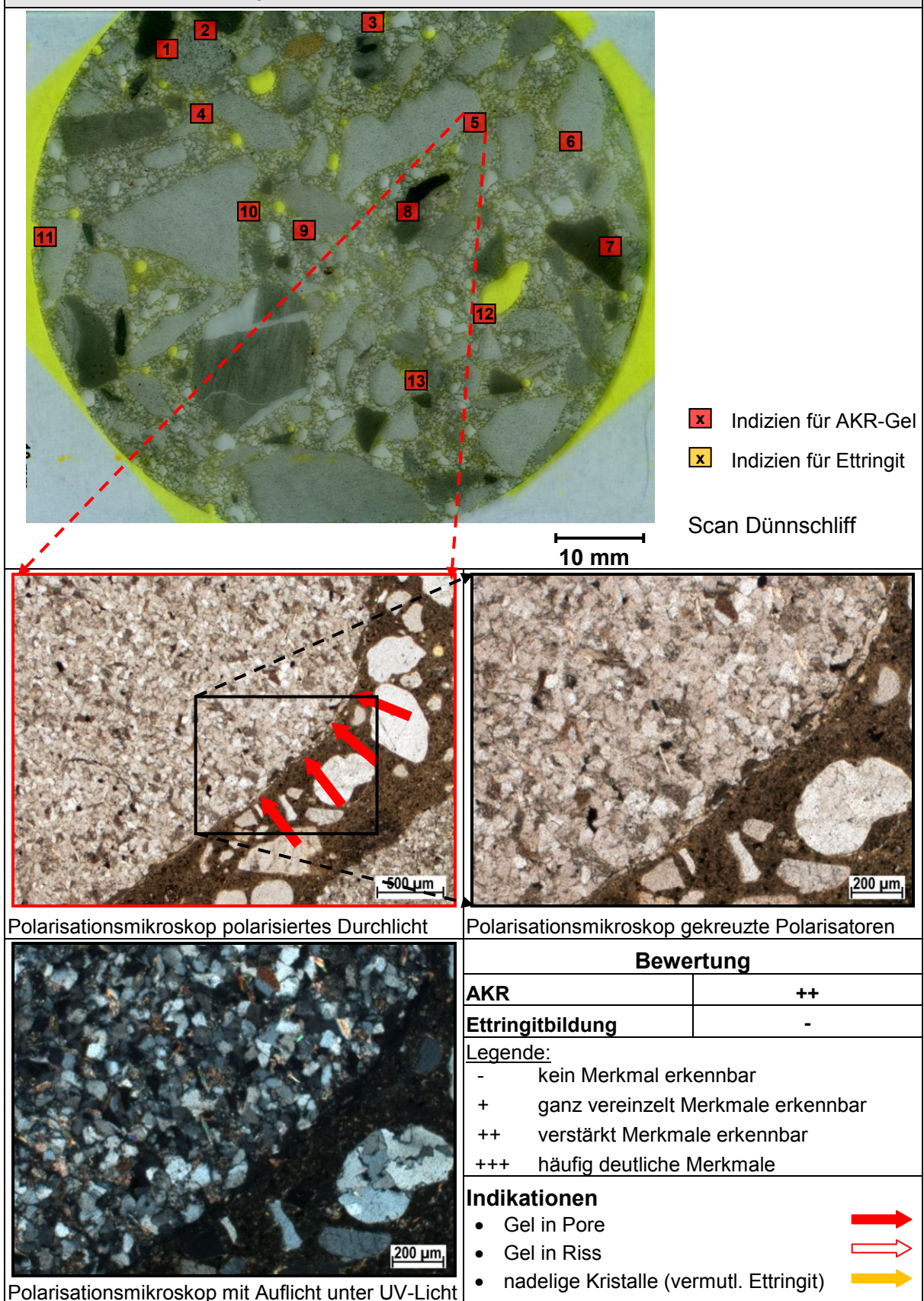
Probe: GW-Z1-0,45-W Zylinder 7 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 5


Abbildung A 105 Dünnschliffuntersuchung Horizontalschnitt von Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,45 nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Detail 5: Riss mit AKR-Gel gefüllt

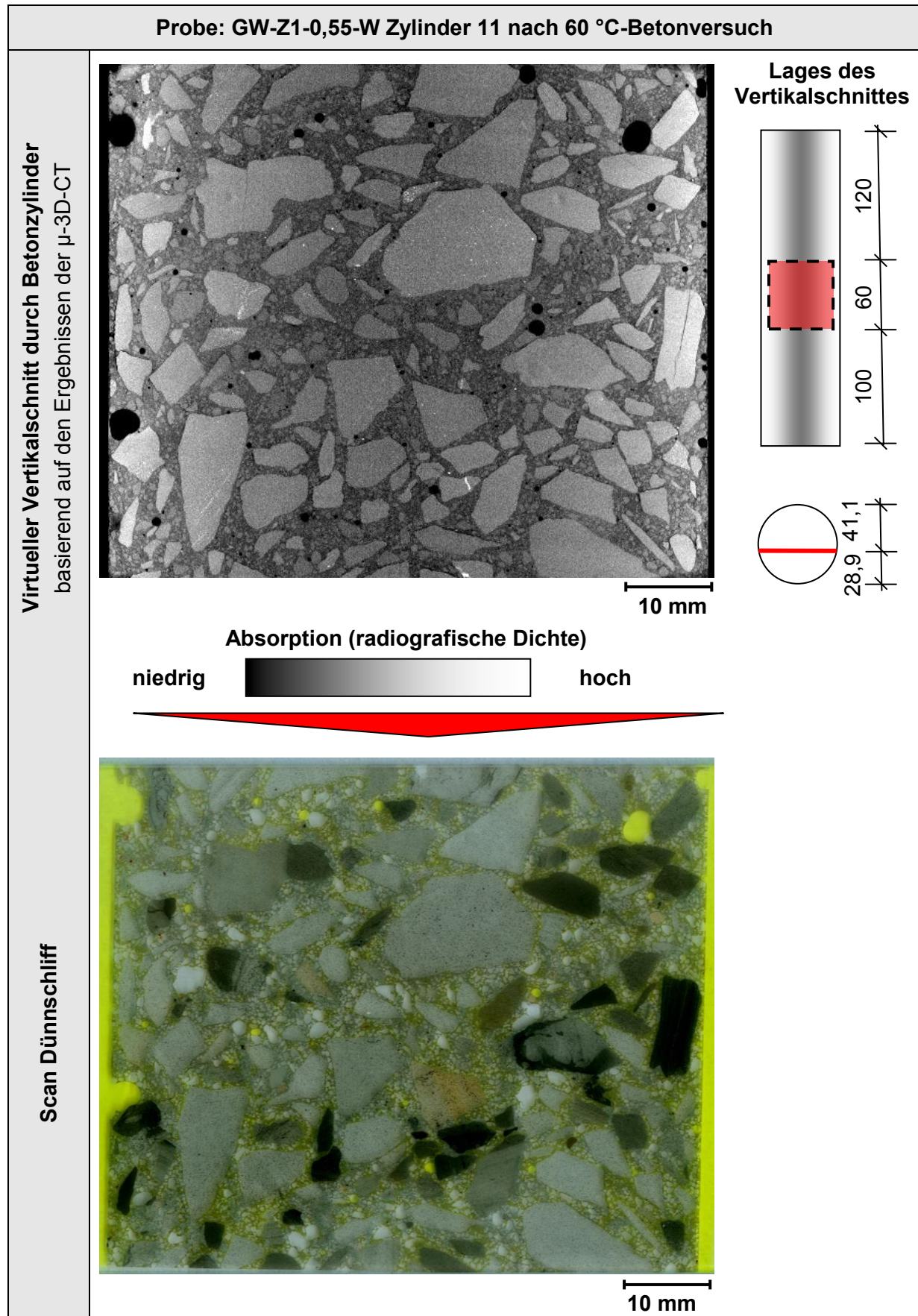


Abbildung A 106 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Zylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55

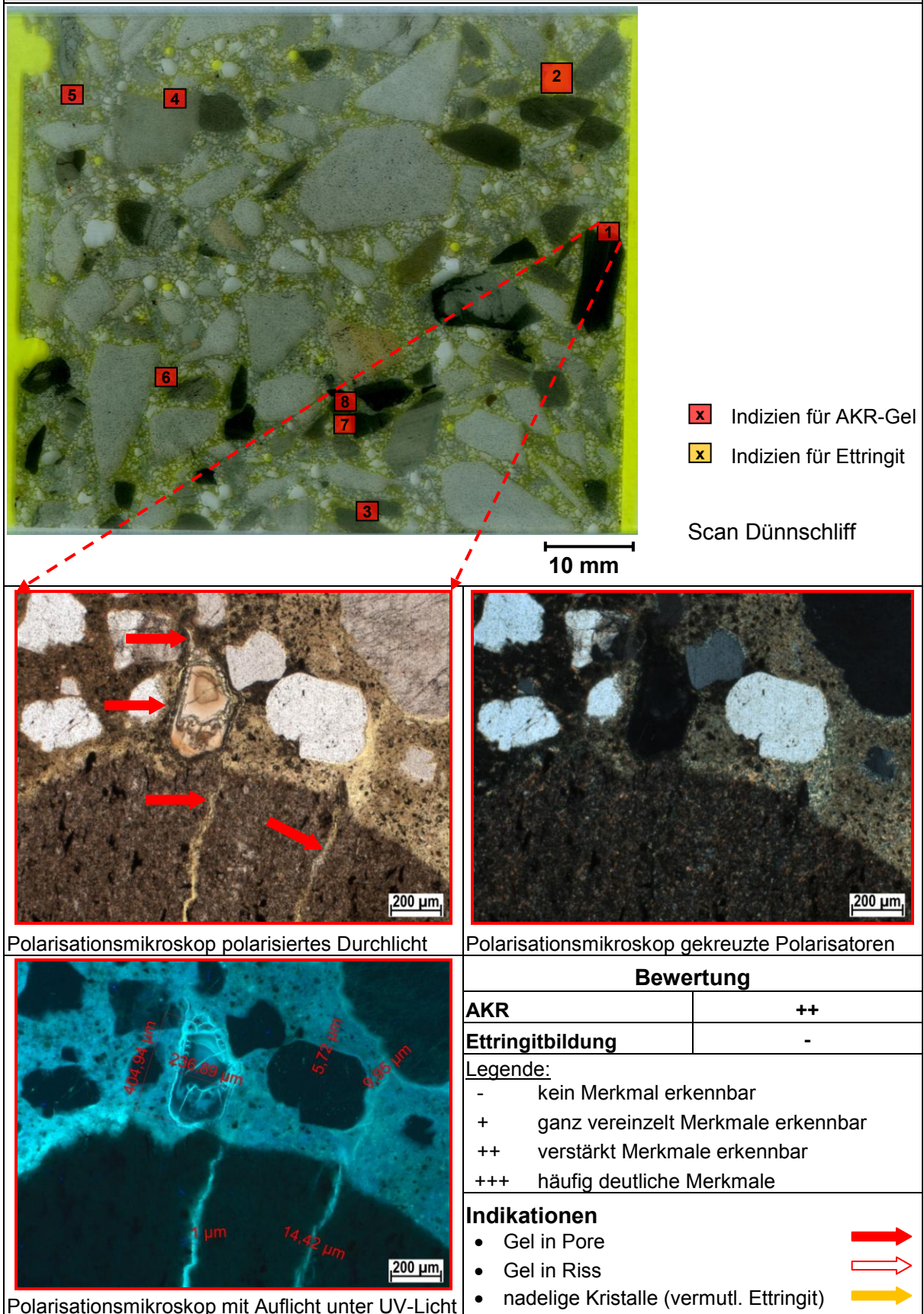
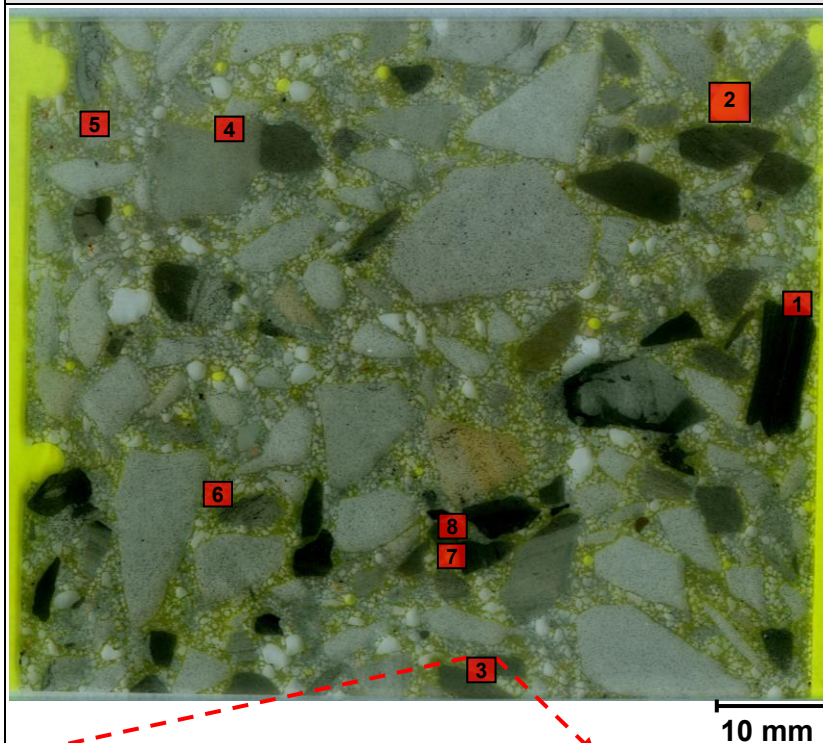
Probe: GW-Z1-0,55-W Zylinder 11 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 1


Abbildung A 107 Dünnschliffuntersuchung Vertikalschnitt Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55 nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Detail 1: AKR-Gel in Pore und Riss

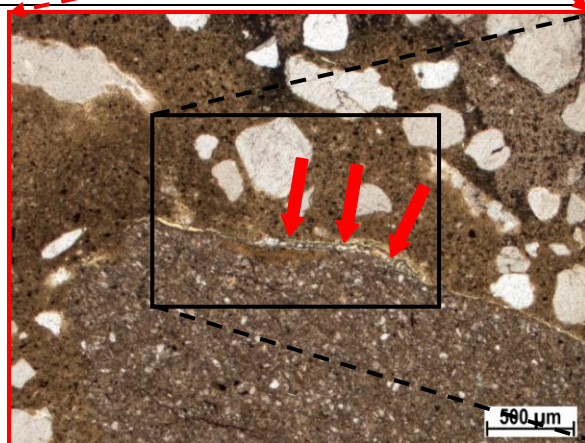
Probe: GW-Z1-0,55-W Zylinder 11 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 3


x Indizien für AKR-Gel

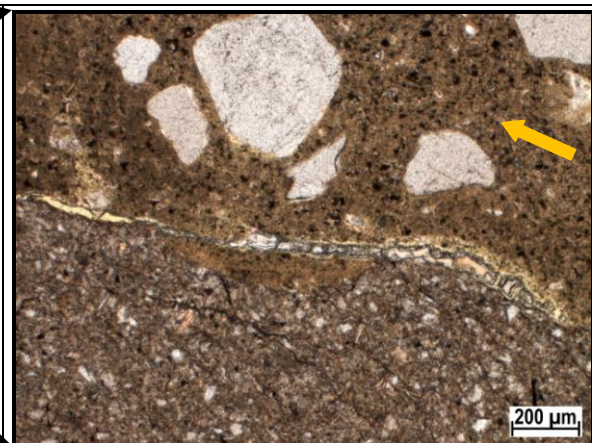
x Indizien für Ettringit

Scan Dünnschliff

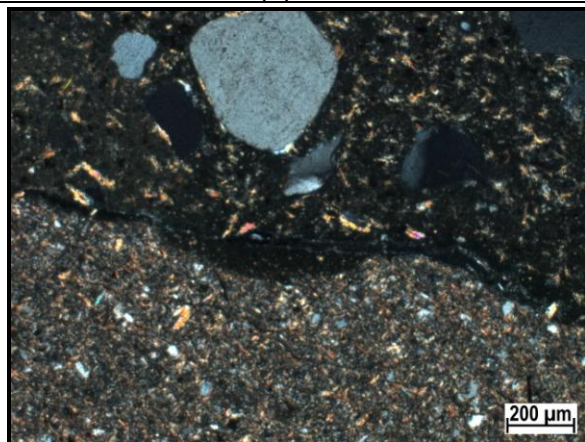
10 mm



Polarisationsmikroskop polarisiertes Durchlicht



Polarisationsmikroskop gekreuzte Polarisatoren



Polarisationsmikroskop mit Auflicht unter UV-Licht

Bewertung

AKR	++
Ettringitbildung	-

Legende:

- kein Merkmal erkennbar
- + ganz vereinzelt Merkmale erkennbar
- ++ verstärkt Merkmale erkennbar
- +++ häufig deutliche Merkmale

Indikationen

- Gel in Pore ➔
- Gel in Riss ➔
- nadelige Kristalle (vermutl. Ettringit) ➔

Abbildung A 108 Dünnschliffuntersuchung Vertikalschnitt Beton mit Grauwacke-Splitt und w/z-Wert von 0,55 nach 60 °C-Betonversuch über Wasser; Detail 3: AKR-Gel gefüllter Riss

➤ Gegenüberstellung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Dehnungen

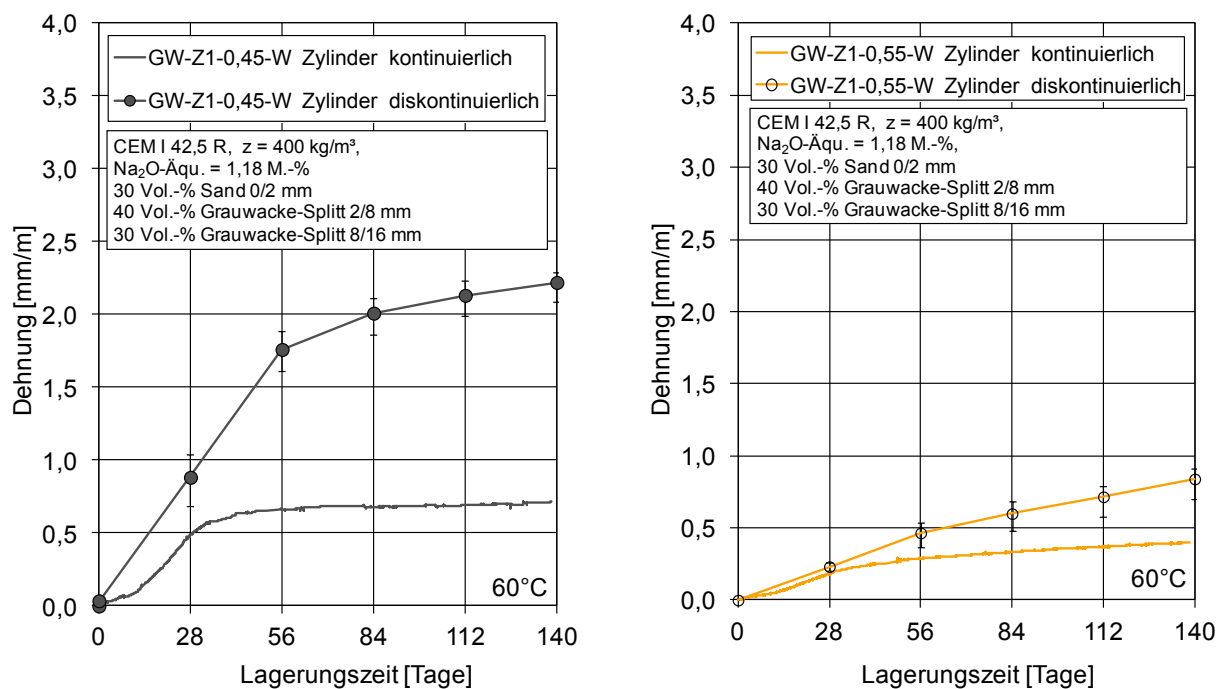


Abbildung A 109 Gegenüberstellung der Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Dehnungsmessung der Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 (links) und 0,55 (rechts) im 60 °C-Betonversuch über Wasser

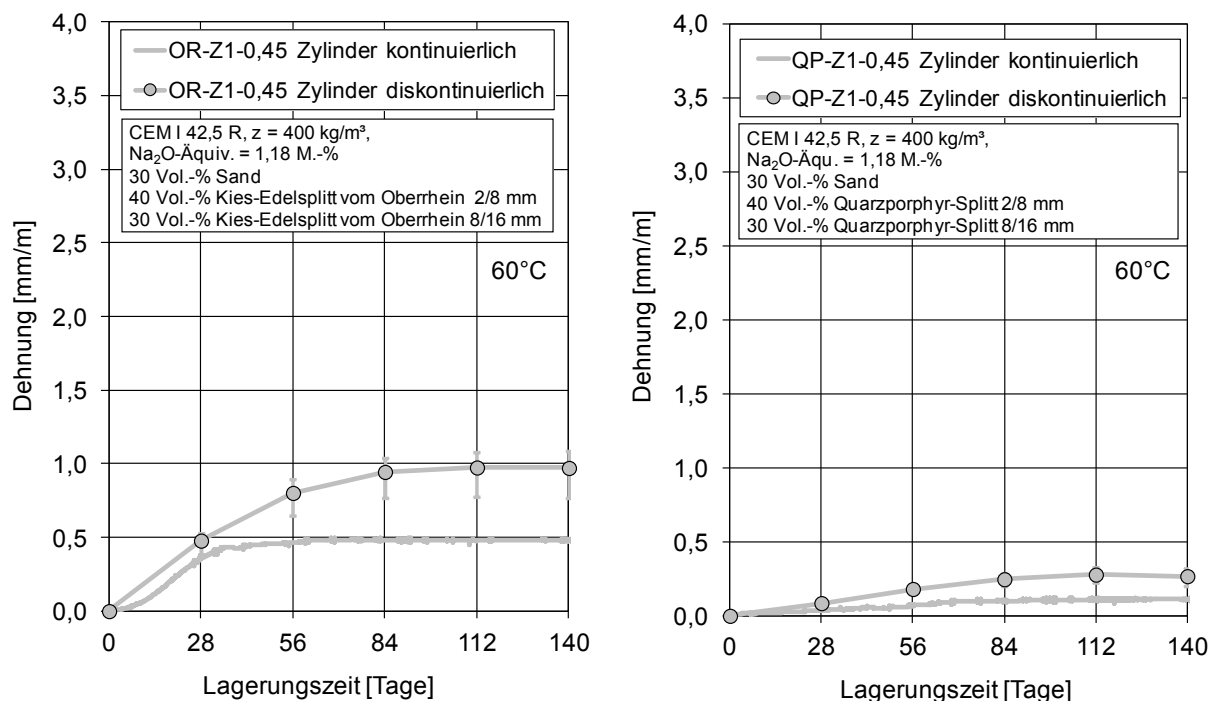


Abbildung A 110 Gegenüberstellung der Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Dehnungsmessung der Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein (links) und Quarzporphyr-Splitt (rechts) bei einem w/z-Wert von 0,45 im 60 °C-Betonversuch über Wasser

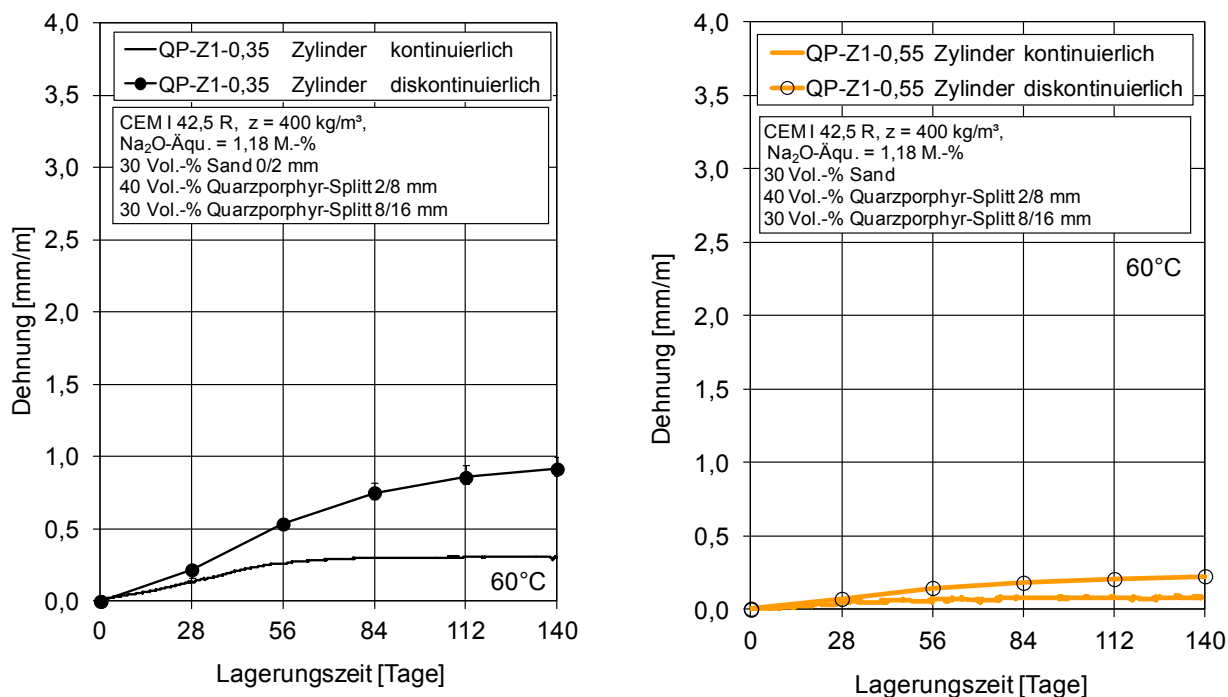


Abbildung A 111 Gegenüberstellung der Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Dehnungsmessung der Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mit Quarzporphyr-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,35 (links) und 0,55 (rechts) im 60 °C-Betonversuch über Wasser

- Ergebnisse kontinuierlicher und diskontinuierlicher Dehnungen und Einfluss der Lösung im Edelstahlbehälter

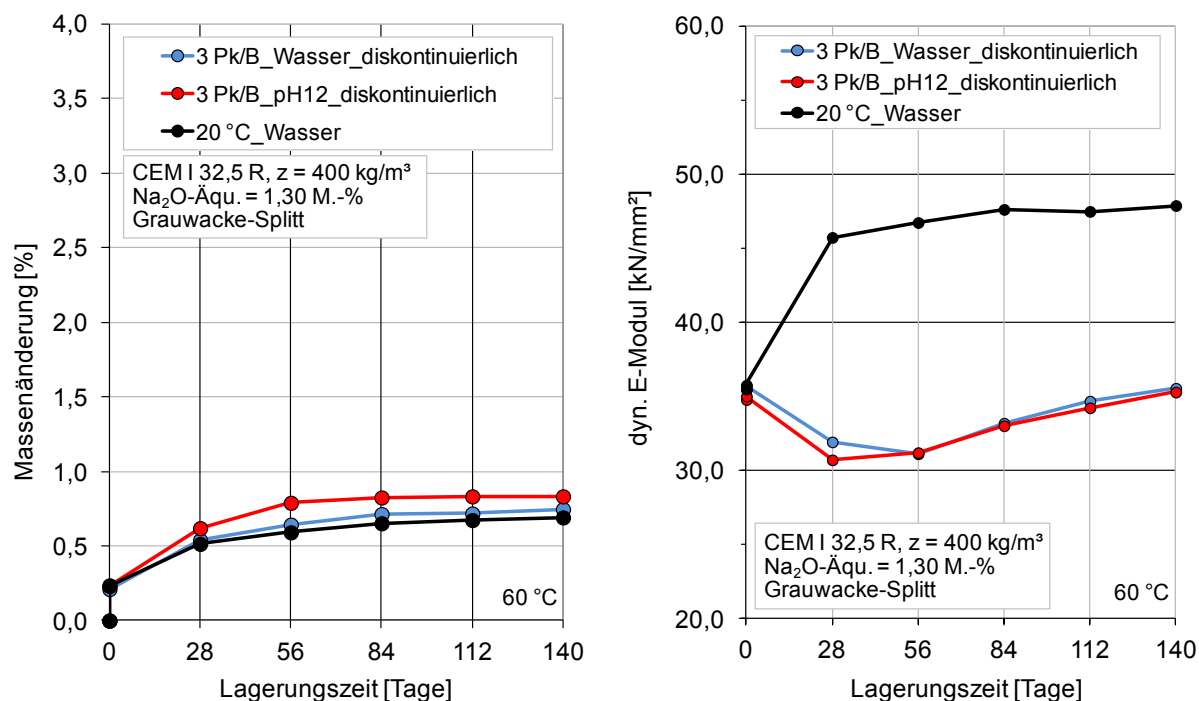


Abbildung A 112 Massenänderung (links) und dynamischer E-Modul (rechts) von Betonzylindern Ø 70 mm, l = 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 im 60 °C-Betonversuch über Wasser bzw. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung mit pH12

➤ Spaltzugfestigkeiten Betonbalken

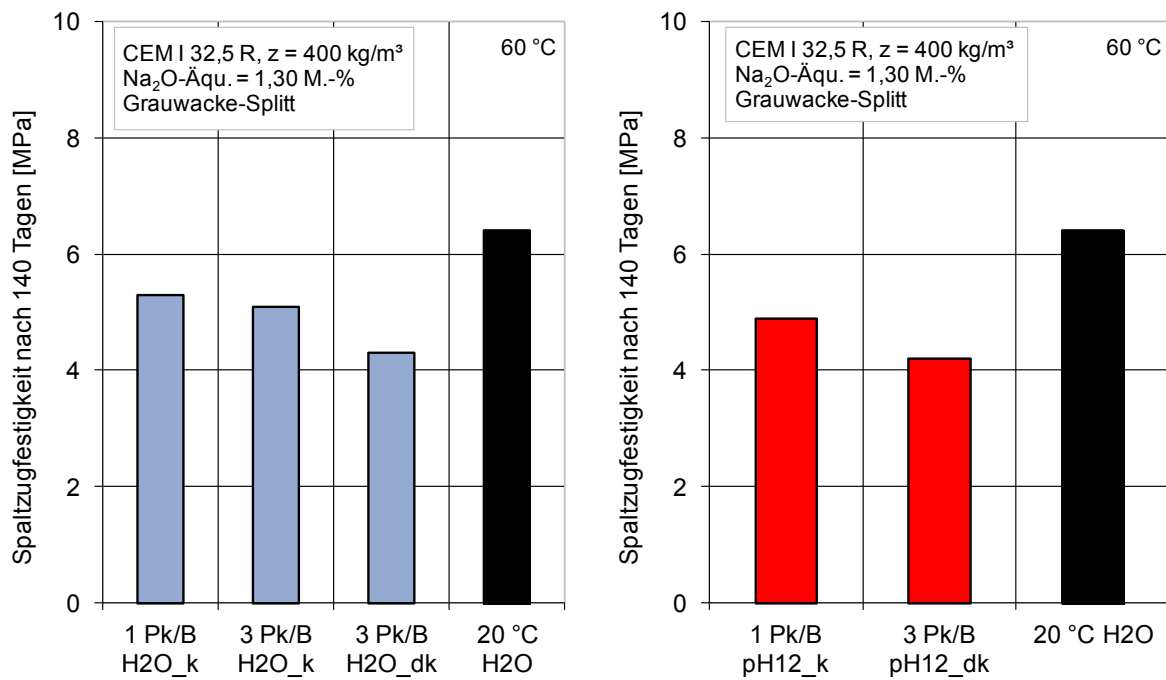


Abbildung A 113 Spaltzugfestigkeiten der diskontinuierlich und kontinuierlich gelagerten Betonzylinder $\varnothing 70 \text{ mm}$, $l = 280 \text{ mm}$ mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 im 60 °C-Betonversuch über Wasser (links) bzw. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung mit pH12 (rechts) bei Variation der Probekörperanzahl je Behälter (Pk/B)

➤ REM: Zusammensetzung AKR-Gel

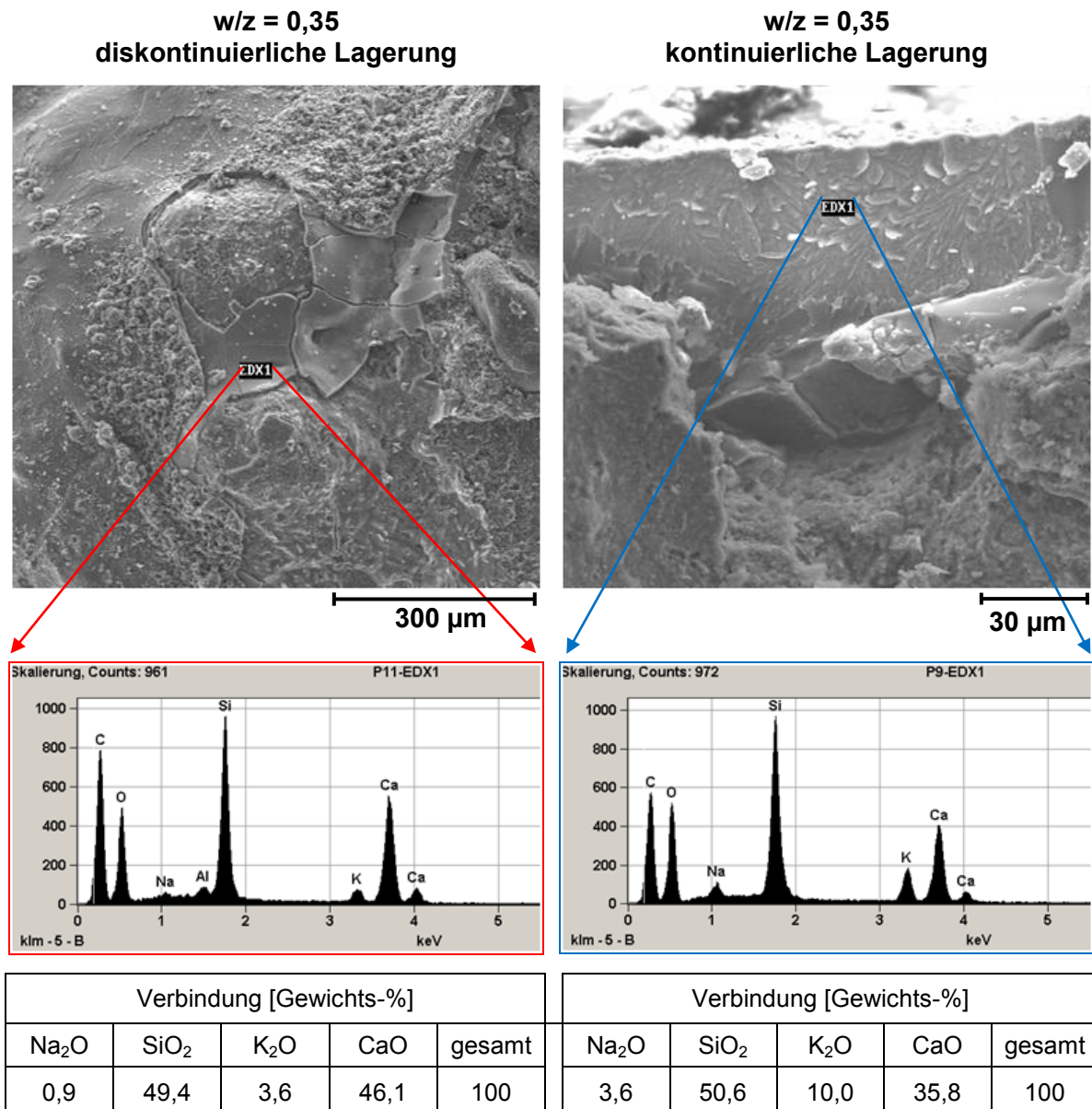


Abbildung A 114 Beispiel für die Analyse von AKR-Gel der diskontinuierlich (links) und kontinuierlich (rechts) gelagerten Betonzylinder Ø 70 mm, l = 280 mm mittels EDX im REM am Beispiel eines Betons mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,35 im 60 °C-Betonversuch über Wasser

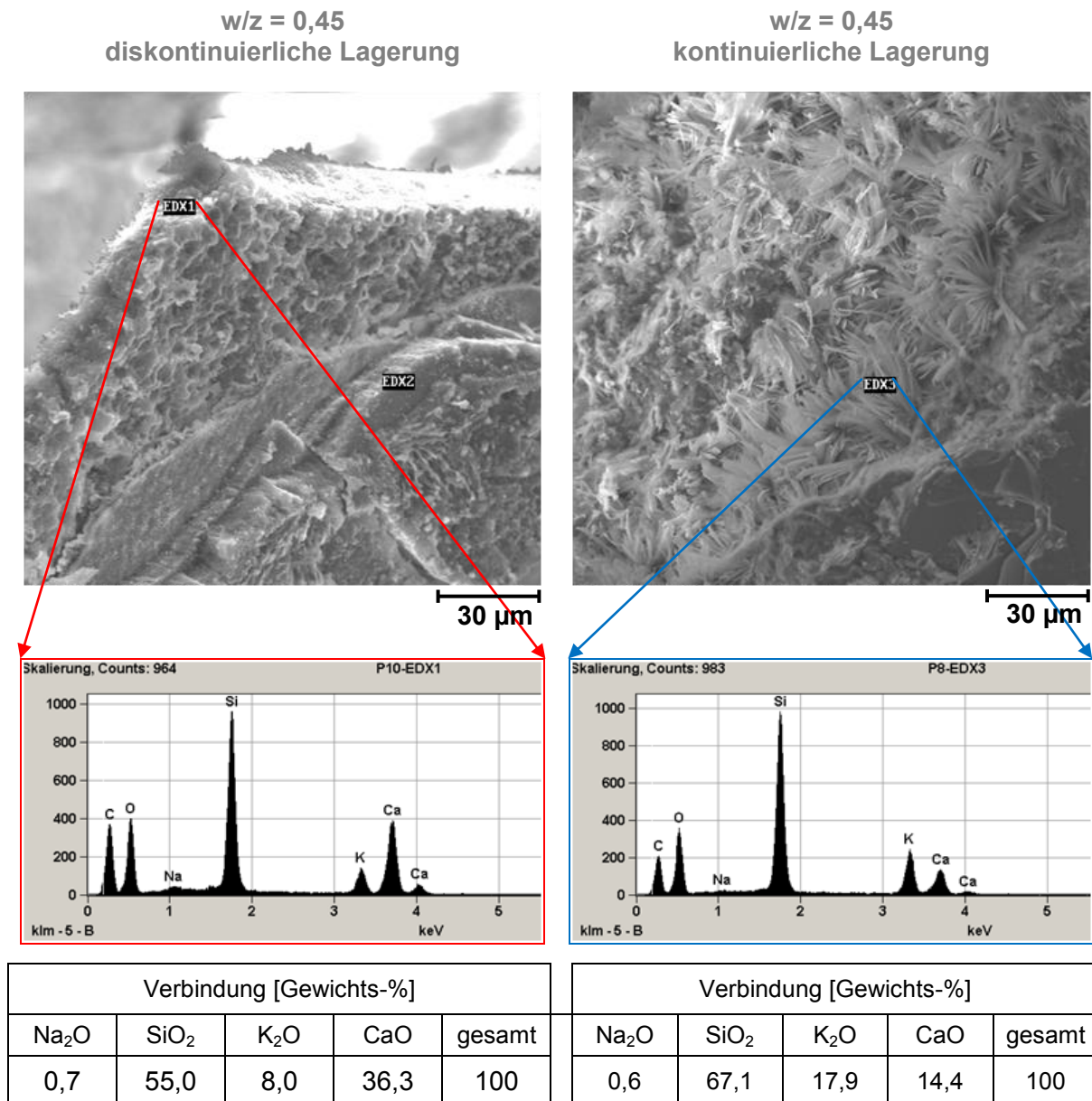


Abbildung A 115 Beispiel für die Analyse von AKR-Gel der diskontinuierlich (links) und kontinuierlich (rechts) gelagerten Betonzylinder \varnothing 70 mm, $l = 280$ mm mittels EDX im REM am Beispiel eines Betons mit Grauwacke-Splitt bei w/z -Wert von 0,45 im 60 °C-Betonversuch über Wasser

➤ REM: Ettringitbildung

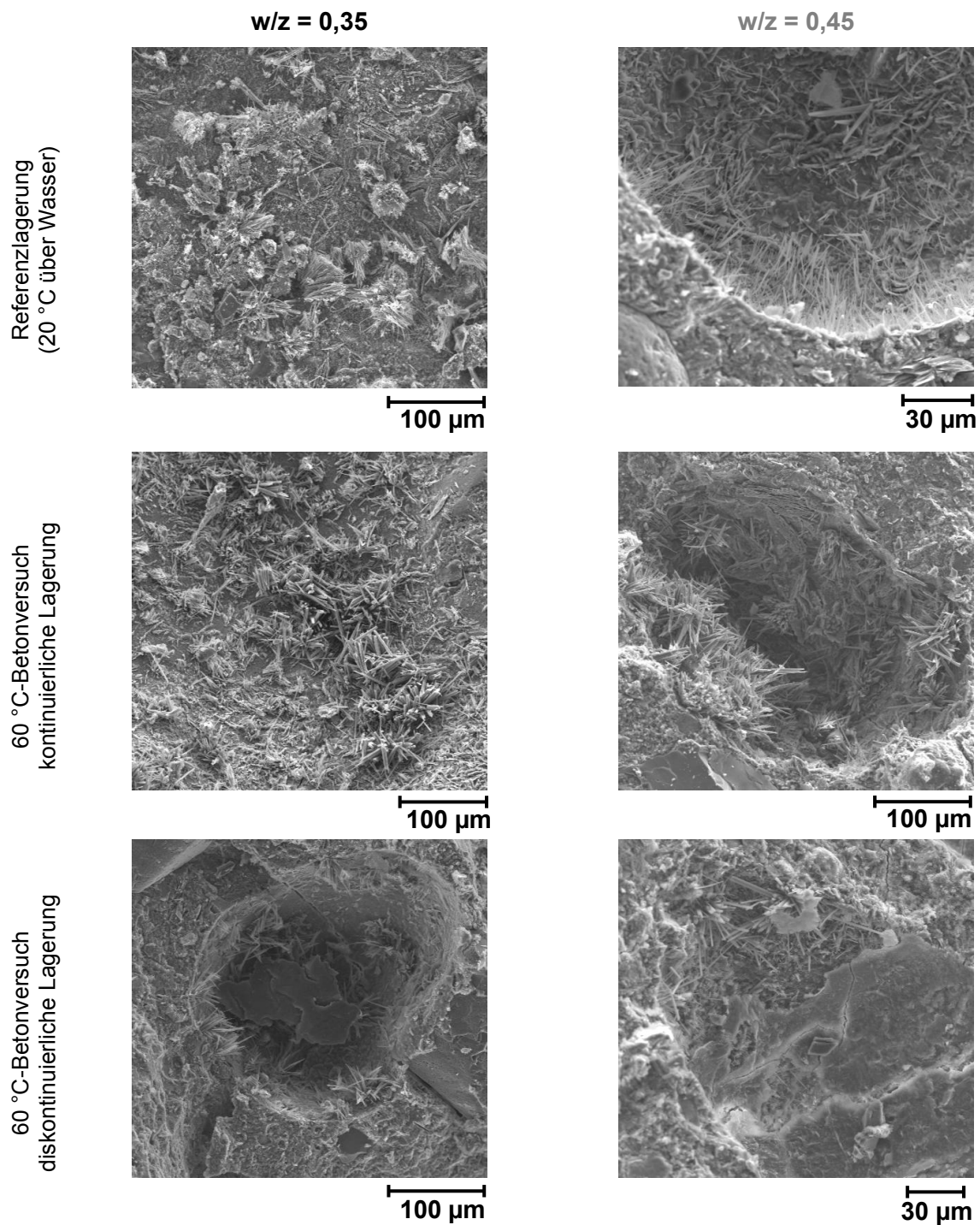


Abbildung A 116 Ettringitbildung am Beispiel von Betonzylindern \varnothing 70 mm, $l = 280$ mm mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z -Wert von 0,35 (links) und 0,45 (rechts) bei Referenzlagerung von 20 °C über Wasser (oben) sowie kontinuierlicher (Mitte) bzw. diskontinuierlicher Lagerung im 60 °C-Betonversuch über Wasser (unten)

► Porosität Betonzylinder

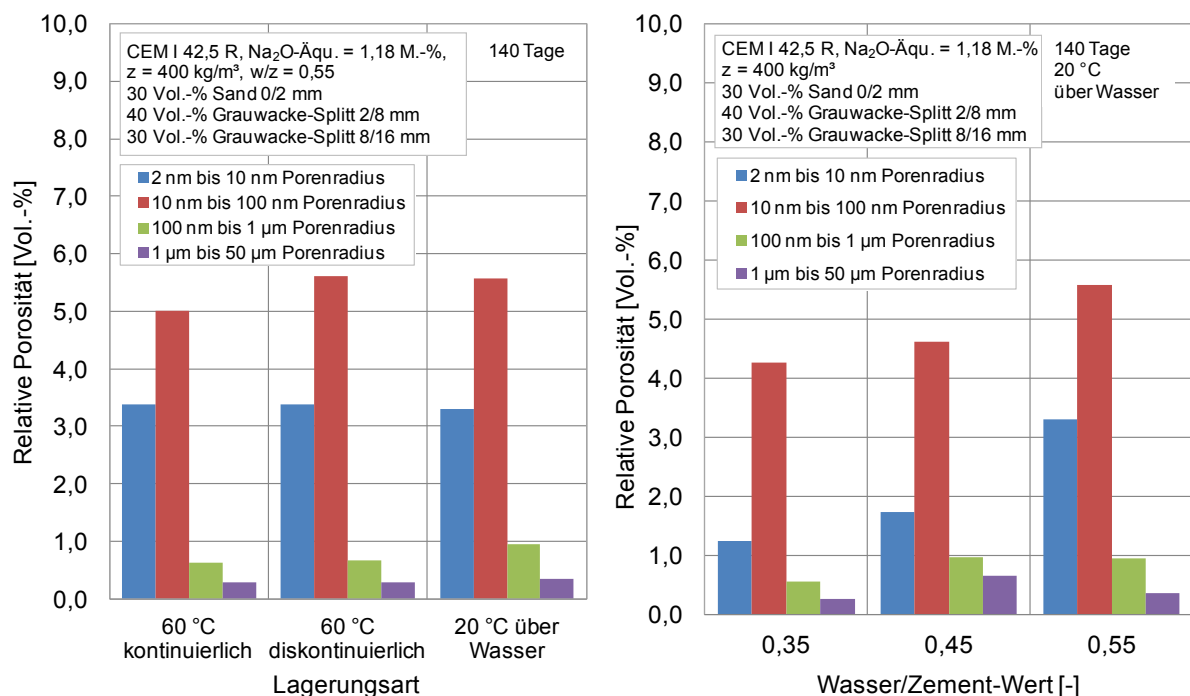


Abbildung A 117 Veränderung der mittels Hg-Porosimetrie ermittelten Porosität am Beispiel von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt: bei Variation der Lagerungsart am Beispiel eines w/z-Wertes von 0,55 (links); bei variierendem w/z-Wert nach 140tägiger Lagerung bei 20 °C über Wasser (rechts)

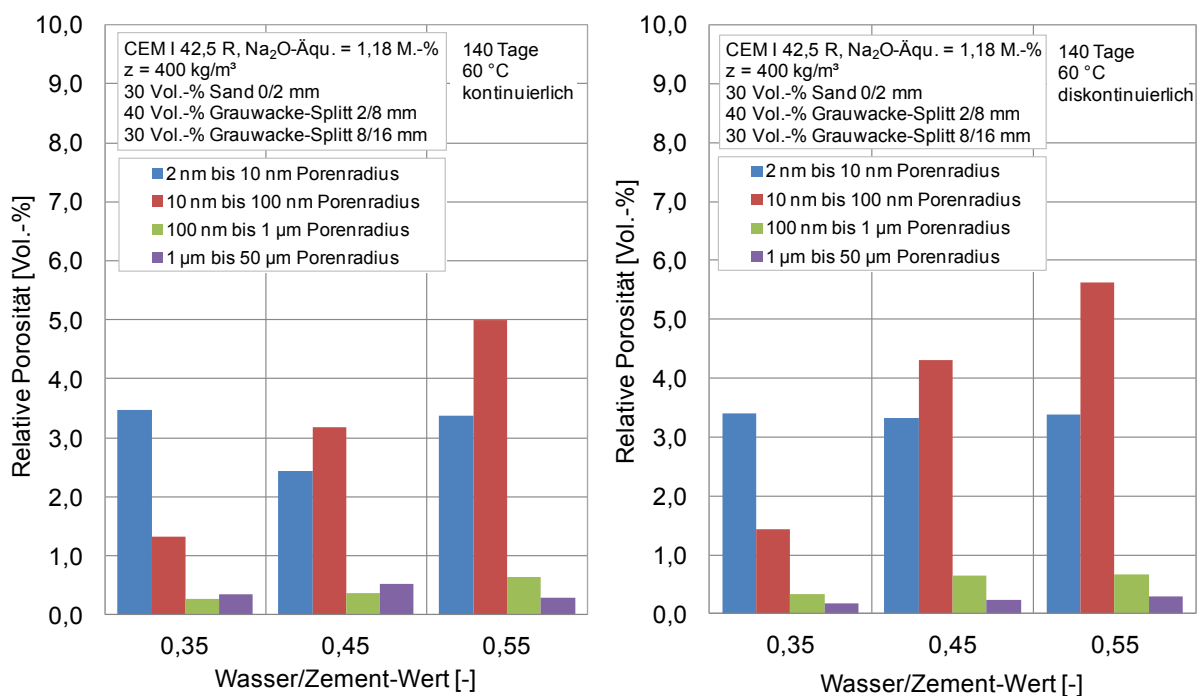


Abbildung A 118 Veränderung der mittels Hg-Porosimetrie ermittelten Porosität am Beispiel von Betonzylindern Ø 70 mm, l 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei Variation des w/z-Wertes in Abhängigkeit von der Art der Lagerung: 140 Tage kontinuierliche (links) und diskontinuierliche (rechts) Lagerung im 60 °C-Betonversuch über Wasser

➤ Spaltzugfestigkeit Betonbalken

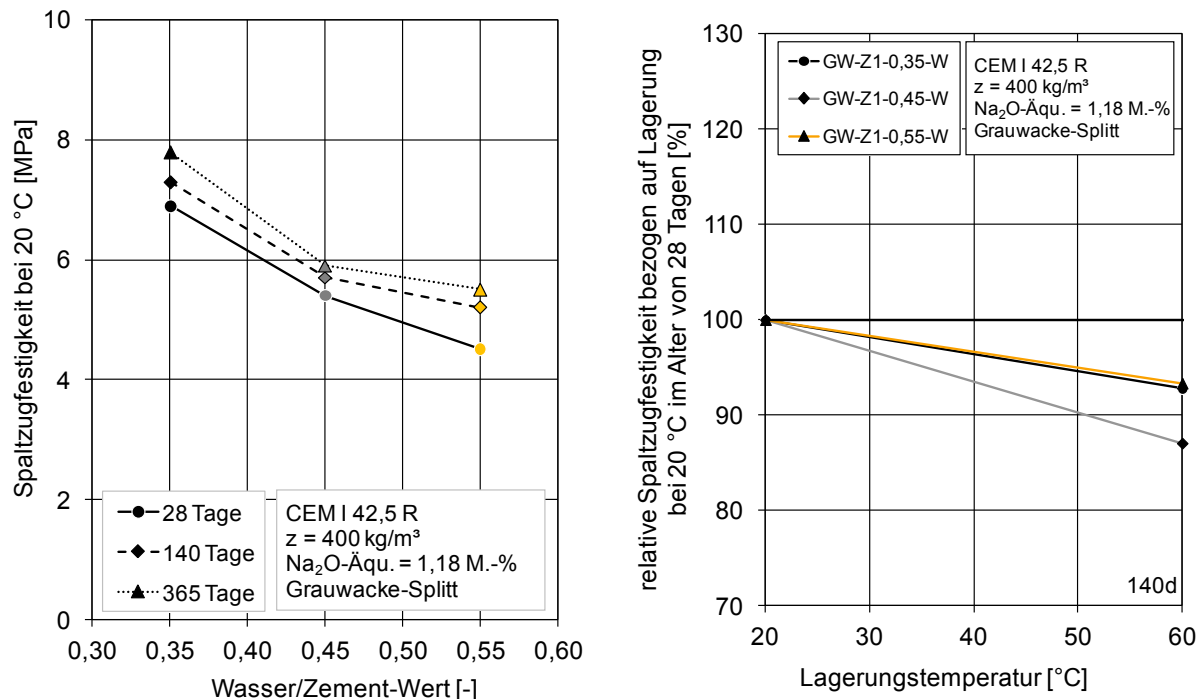


Abbildung A 119 absolute Spaltzugfestigkeit von Beton mit Grauwacke-Splitt in Abhängigkeit vom w/z-Wert bei 20 °C über Wasser bis zu Alter von 365 Tagen (links) und relative, auf 28tägige 20 °C-Lagerung bezogene Spaltzugfestigkeit nach 60 °C-Betonversuch über Wasser bei Probenalter von 140 Tagen (rechts)

➤ Verformungsverhalten Betonzylinder

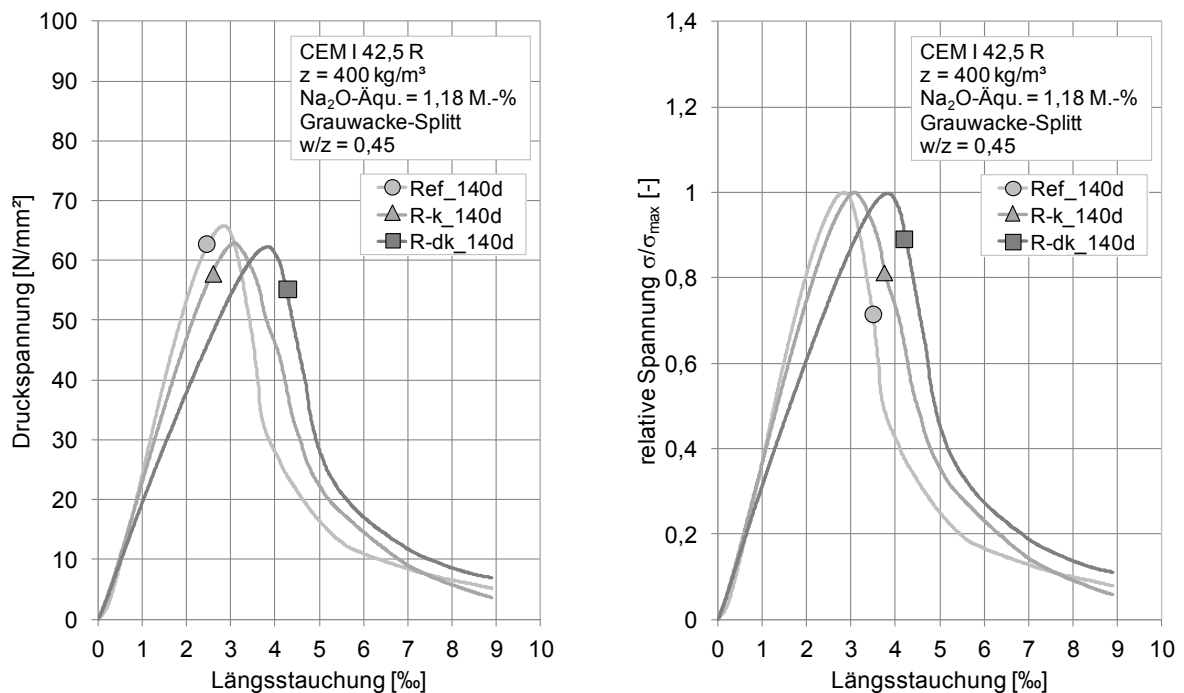


Abbildung A 120 Einfluss der kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen Lagerung im 60 °C-Betonversuch über Wasser im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45

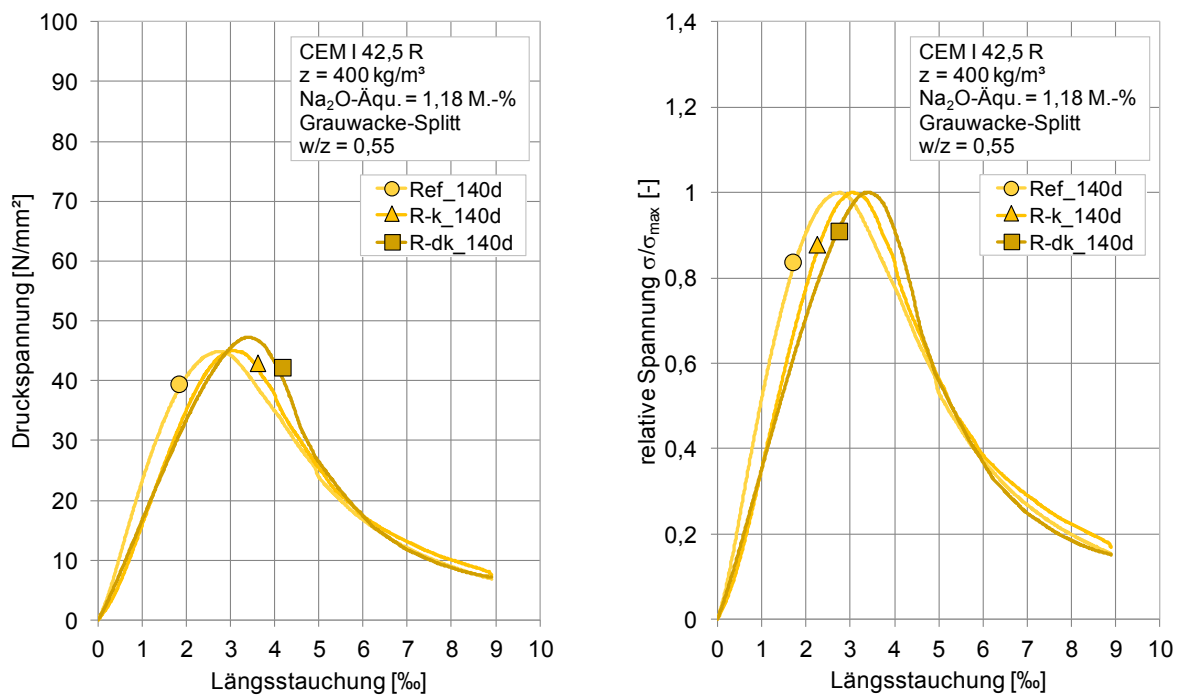


Abbildung A 121 Einfluss der kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z -Wert von 0,55

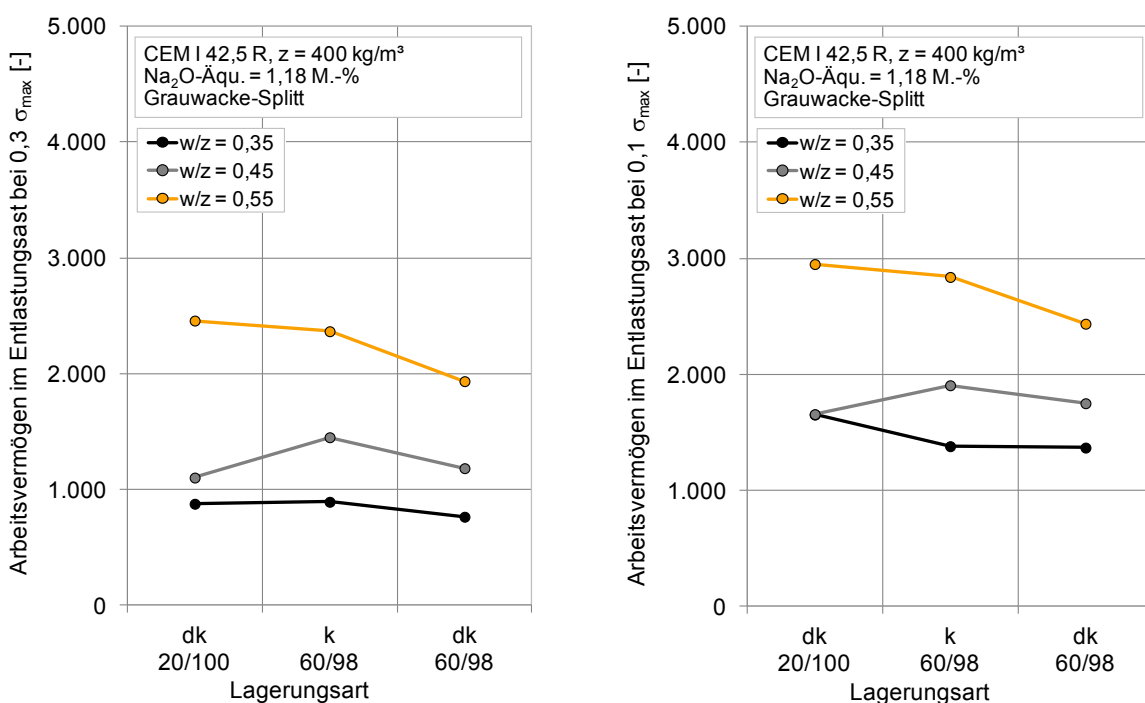


Abbildung A 122 Vergleich von Referenzlagerung und 60 °C-Betonversuch hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 30 % (links) und 10 % (rechts) der maximalen Druckspannung - von Beton mit Grauwacke-Splitt bei variierendem w/z -Wert im Alter von 140 Tagen

10.2.2.2 Zugabe LP-Bildner

40 °C-Nebelkammerlagerung

- Masse, Dehnung (manuelle Messung) und dynamischer E-Modul (aus Eigenschwingzeitmessung) von Balken (75 x 75 x 280 [mm]) und Zylindern (Ø 70 mm, L 280 mm)

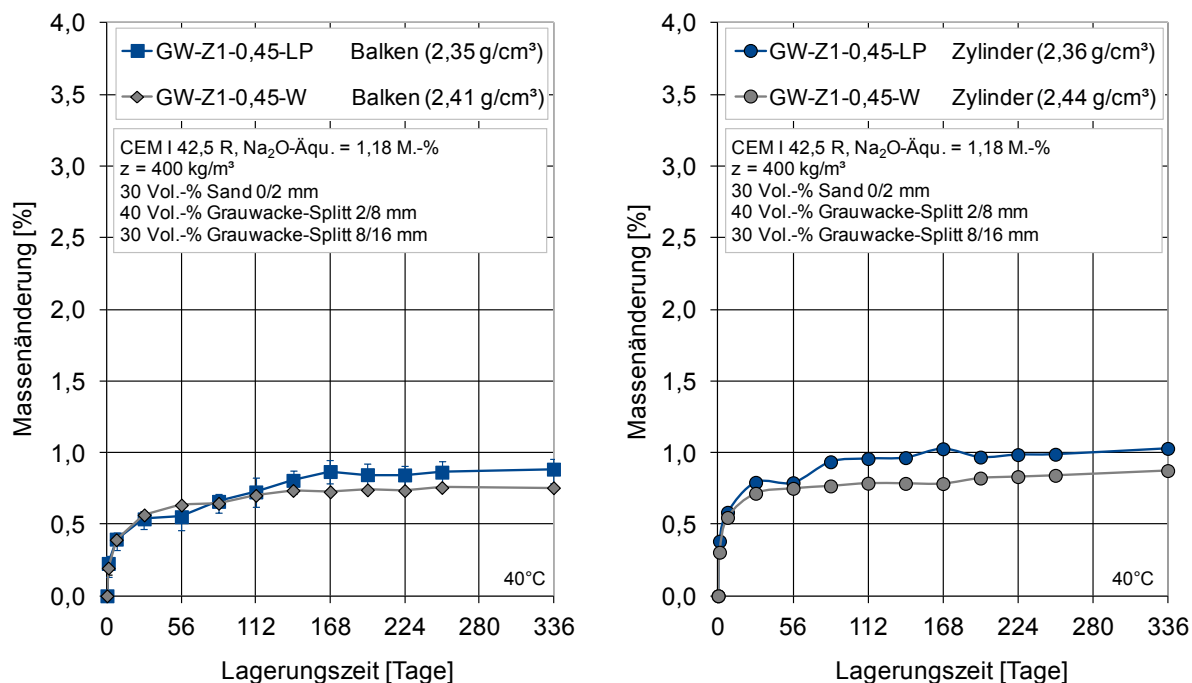


Abbildung A 123 Einfluss der Zugabe von LP-Bildner auf die Masseänderung von Betonbalken 75 mm x 75 mm x 280 mm (links) und Betonzylindern Ø 70 mm, l = 280 mm (rechts) mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

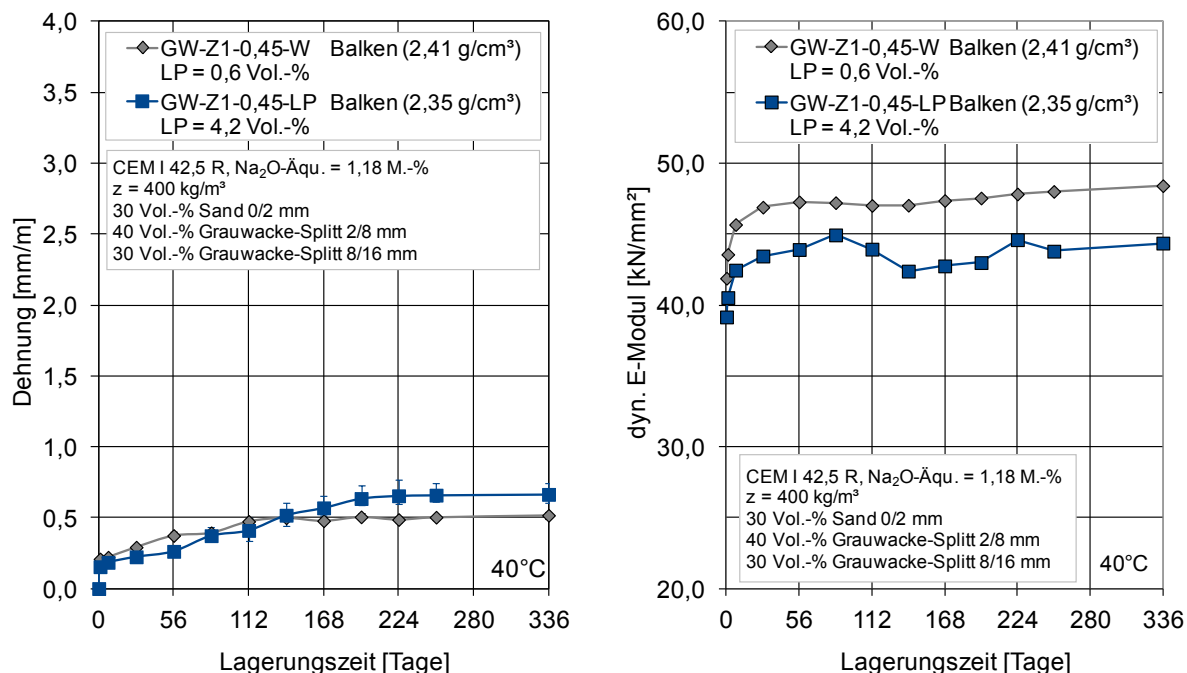


Abbildung A 124 Einfluss der Zugabe von LP-Bildner auf die Dehnung (links) und den dynamischen E-Modul (rechts) von Betonbalken der Geometrie 75 mm x 75 mm x 280 mm mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 in der Nebelkammerlagerung bei 40 °C

➤ Gegenüberstellung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Dehnungen

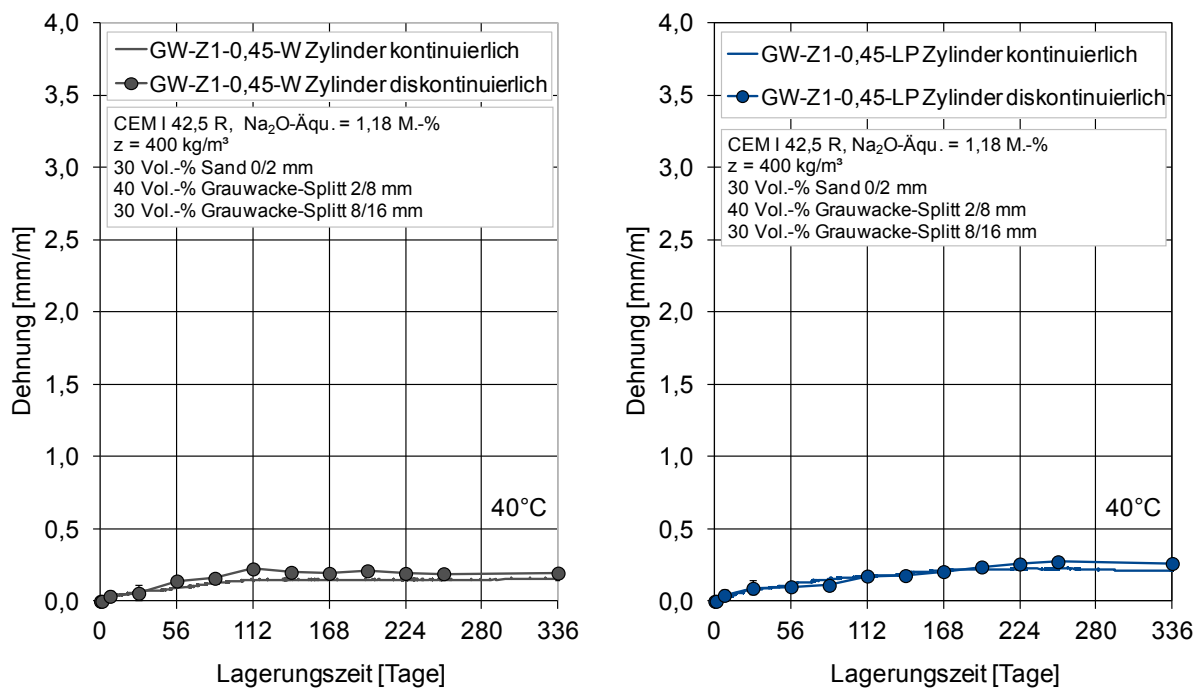


Abbildung A 125 Gegenüberstellung der Ergebnisse der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Dehnungsmessung der Betonzylinder $\varnothing 70 \text{ mm}$, $l = 280 \text{ mm}$ mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 ohne LP-Bilder (links) und mit LP-Bildner (rechts) bei 40 °C-Nebelkammerlagerung

- Ergebnisse mittels μ -3D-CT zur räumlichen und zeitlichen Visualisierung der Risse, etc.

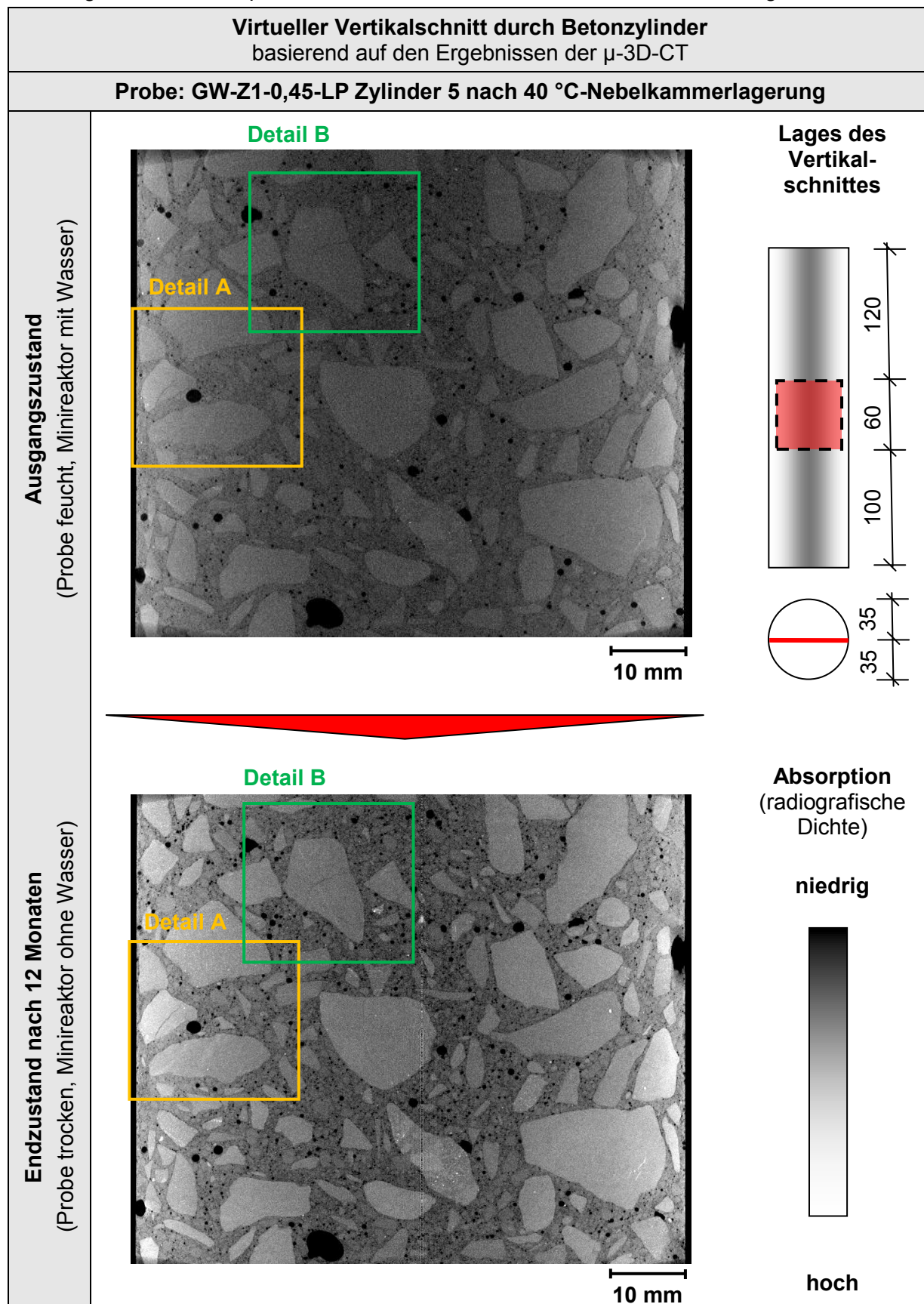


Abbildung A 126 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert = 0,45 und LP-Bildner vor und nach Nebelkammerlagerung bei 40 °C mit μ -3D-CT

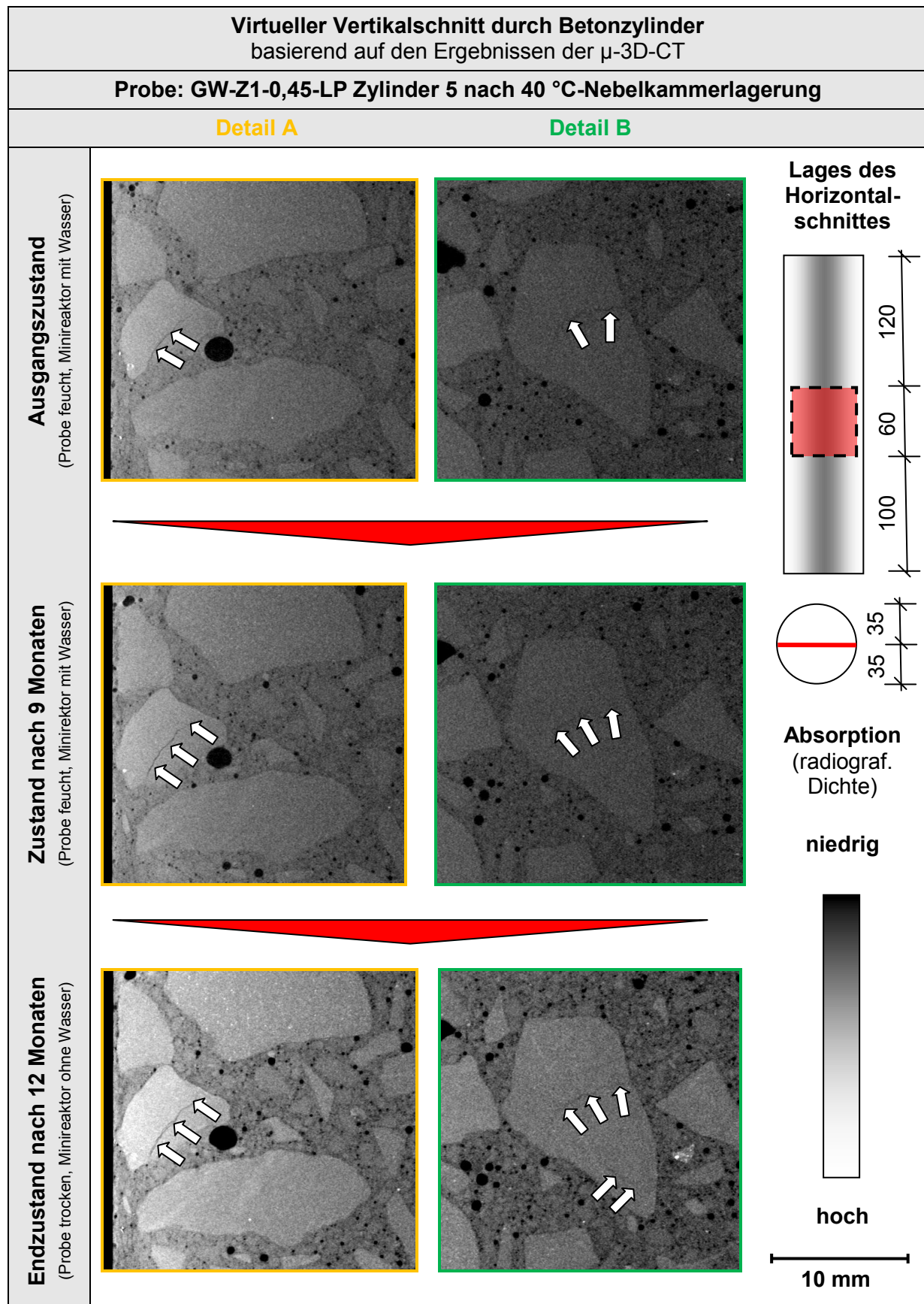


Abbildung A 127 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert = 0,45 und LP-Bildner vor, während und nach Nebelkammerlagerung bei 40 °C mit μ -3D-CT: Details A und B

➤ Mikroskopische Ergebnisse

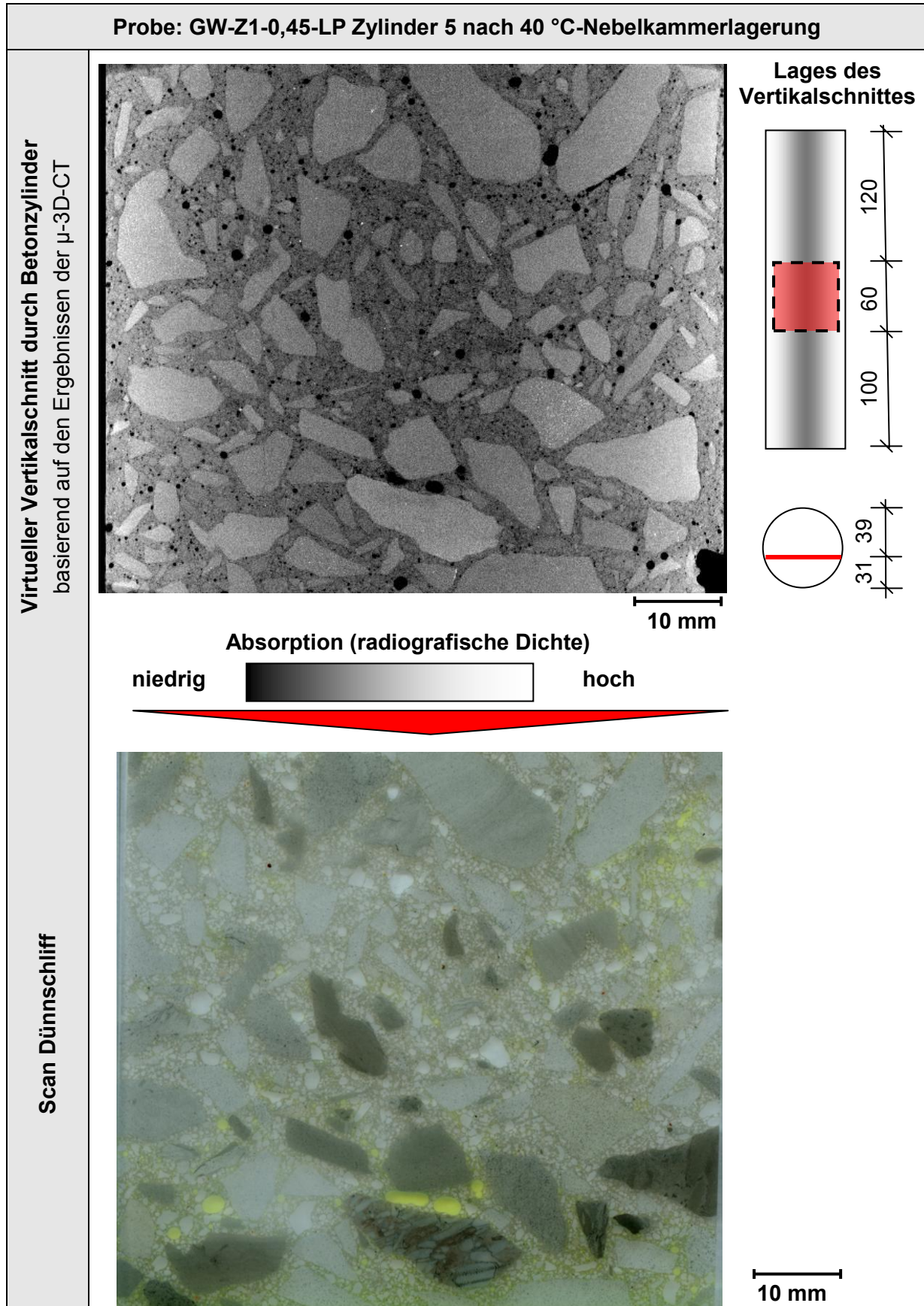


Abbildung A 128 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt eines Betonzylinders (\varnothing 70 mm, l 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner nach Nebelkammerlagerung bei 40 °C

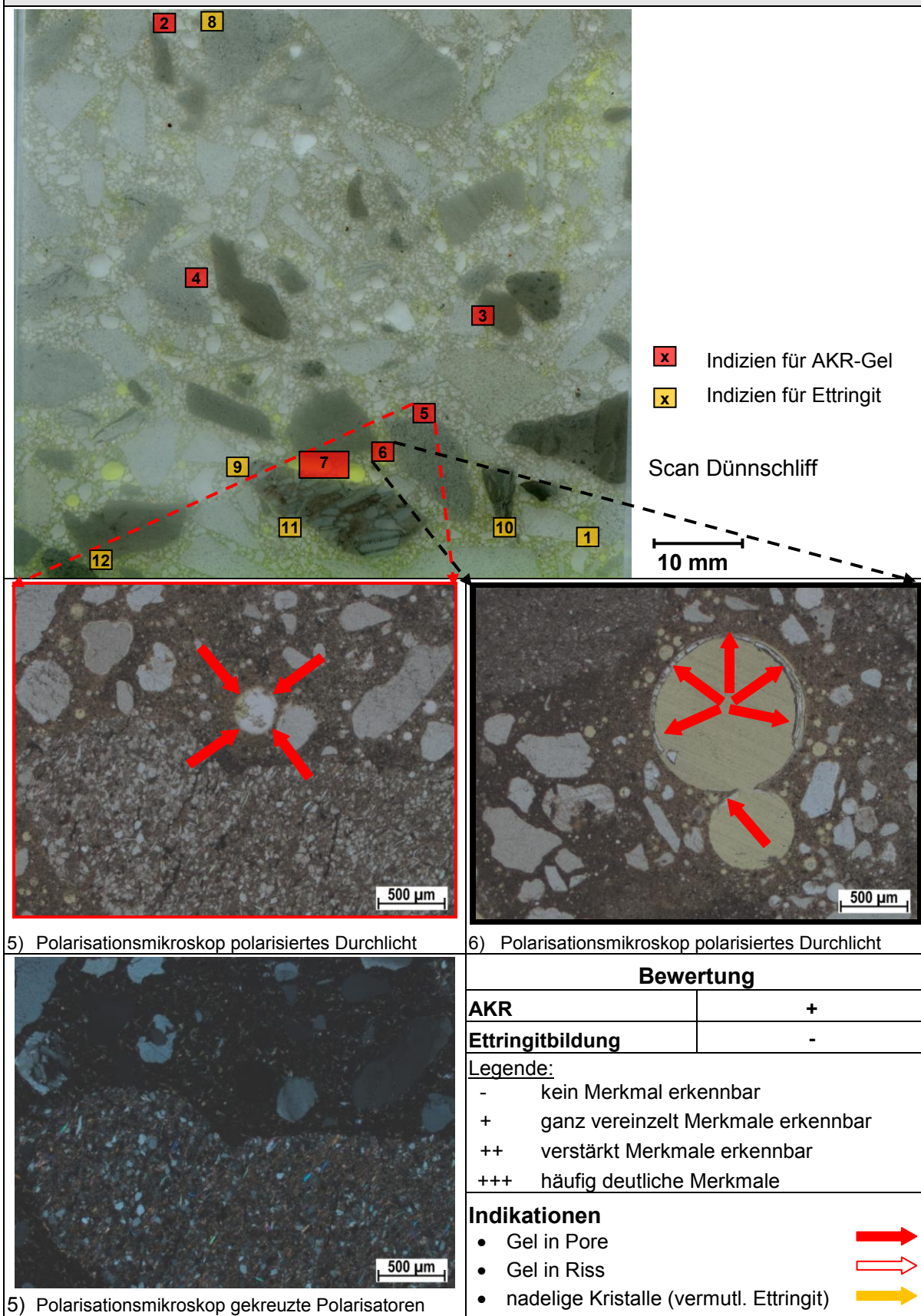
Probe: GW-Z1-0,45-LP Zylinder 5 nach 40 °C-Nebelkammer – Detailbild 5 und 6


Abbildung A 129 Dünnschliffuntersuchung Vertikalschnitt Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner nach 40 °C-Nebelkammer; Detail 5: Pore mit AKR-Gel gefüllt; Detail 6: dünne Schicht AKR-Gel an Porenwandung

Probe: GW-Z1-0,45-LP Zylinder 5 nach 40 °C-Nebelkammer – Detailbild 8

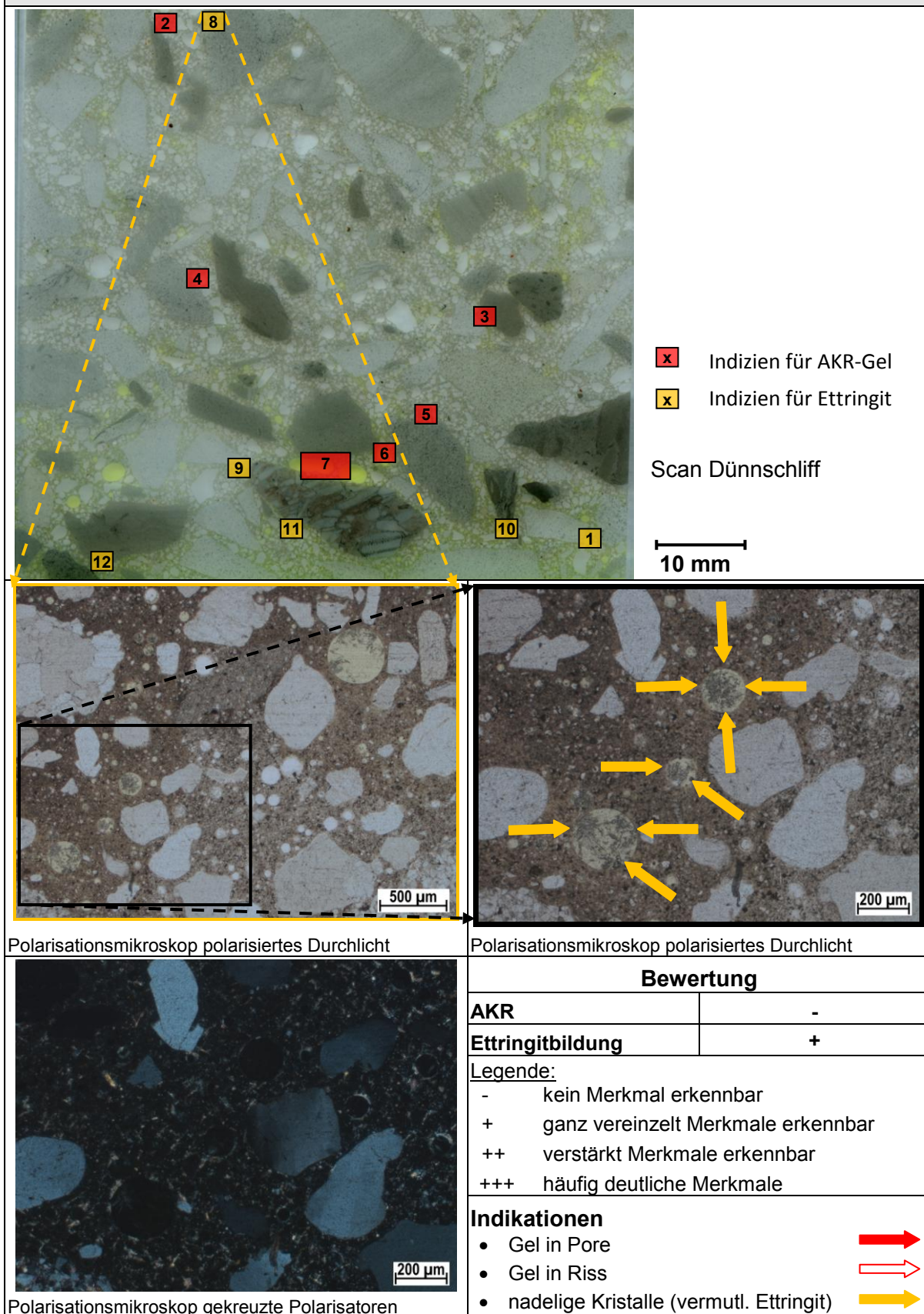


Abbildung A 130 Dünnschliffuntersuchung Vertikalschnitt Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner nach 40 °C-Nebelkammer; Detail 8: Ettringit in Poren bzw. an Porenwandung

➤ Porosität Betonzylinder

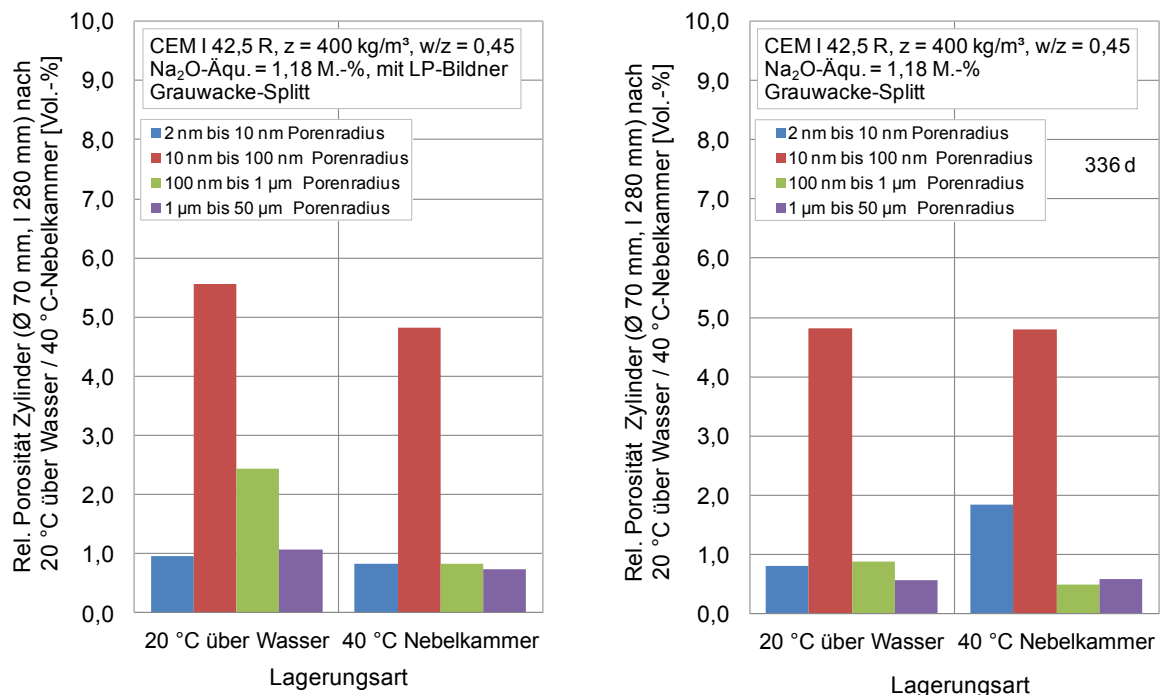


Abbildung A 131 gemittelte Porenradienverteilung am Betonzylinder Ø 70 mm, L 280 mm nach 40 °C-Nebelkammer und nach 20 °C über Wasser mit Grauwacke-Splitt bei einem w/z-Wert von 0,45 mit (links) bzw. ohne (rechts) LP-Bildner im Alter von 336 Tagen mittels Hg-Porosimetrie

➤ Verformungsverhalten Betonzylinder

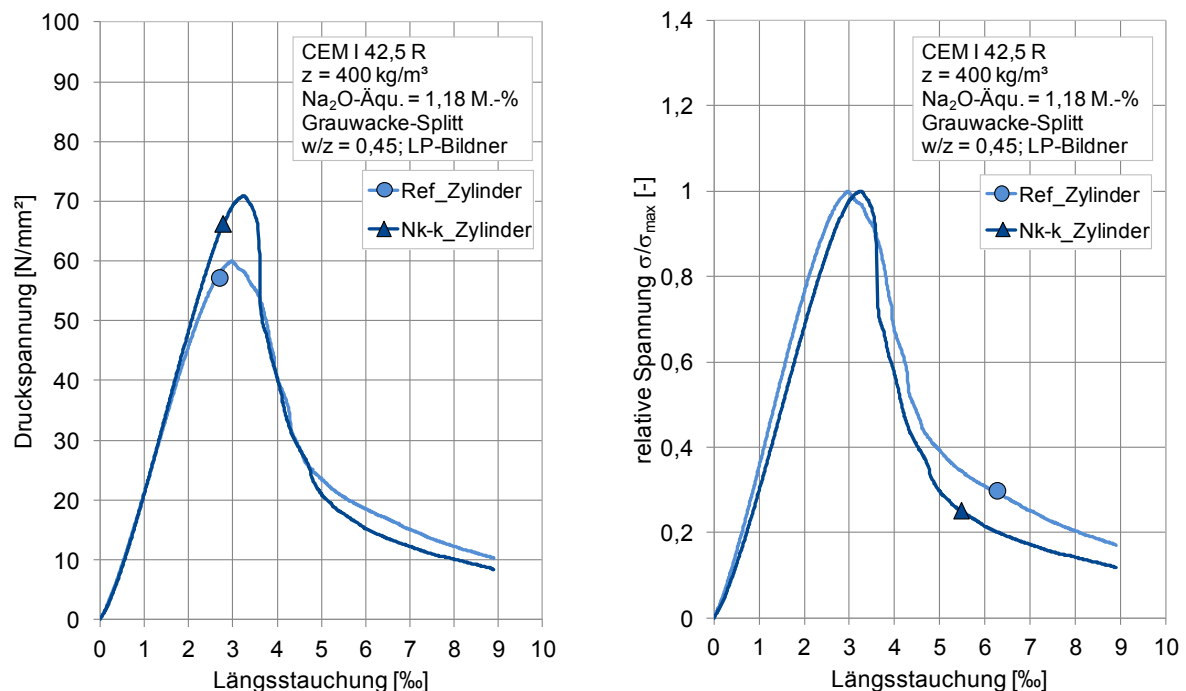


Abbildung A 132 Einfluss der kontinuierlichen 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt und LP-Bildner bei einem w/z-Wert von 0,45

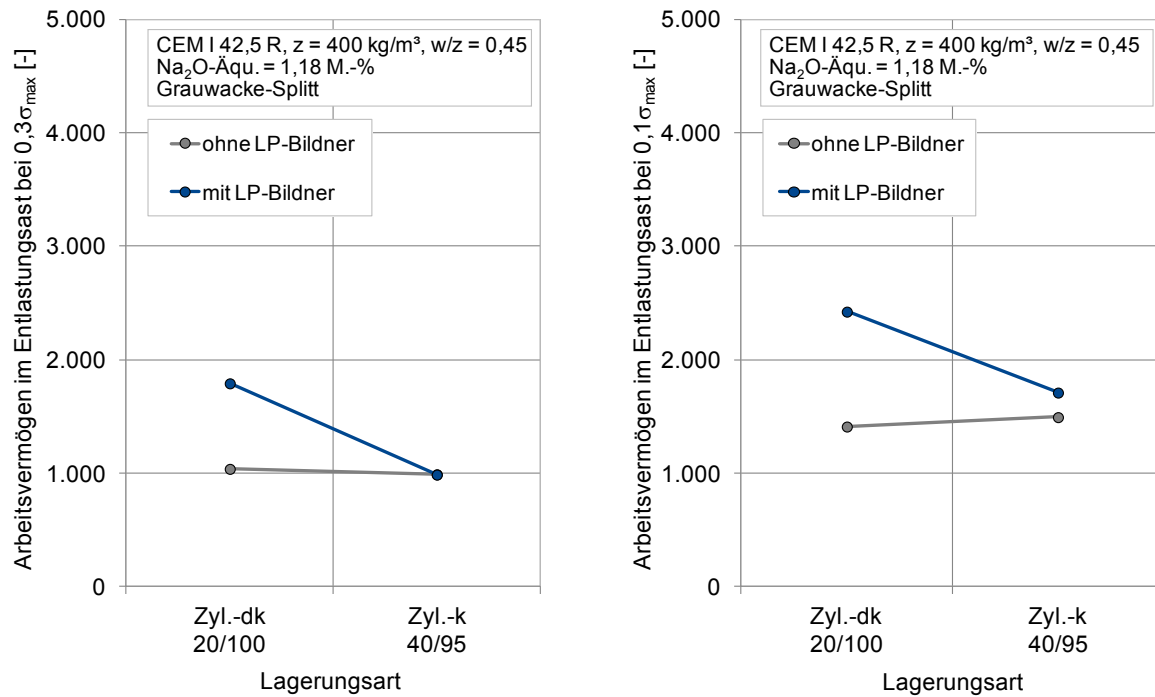


Abbildung A 133 Vergleich von Referenz- und 40 °C-Nebelkammerlagerung hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 30 % (links) und 10 % (rechts) der maximalen Druckspannung - von Beton mit Grauwacke-Splitt, $w/z = 0,45$ mit/ohne LP-Bildner im Alter von 336 Tagen

➤ Verhalten Betonwürfel (300 x 300 x 300 mm³)

GW-Z1-0,45-LP: Rissverlauf während 40 °C-Nebelkammerlagerung

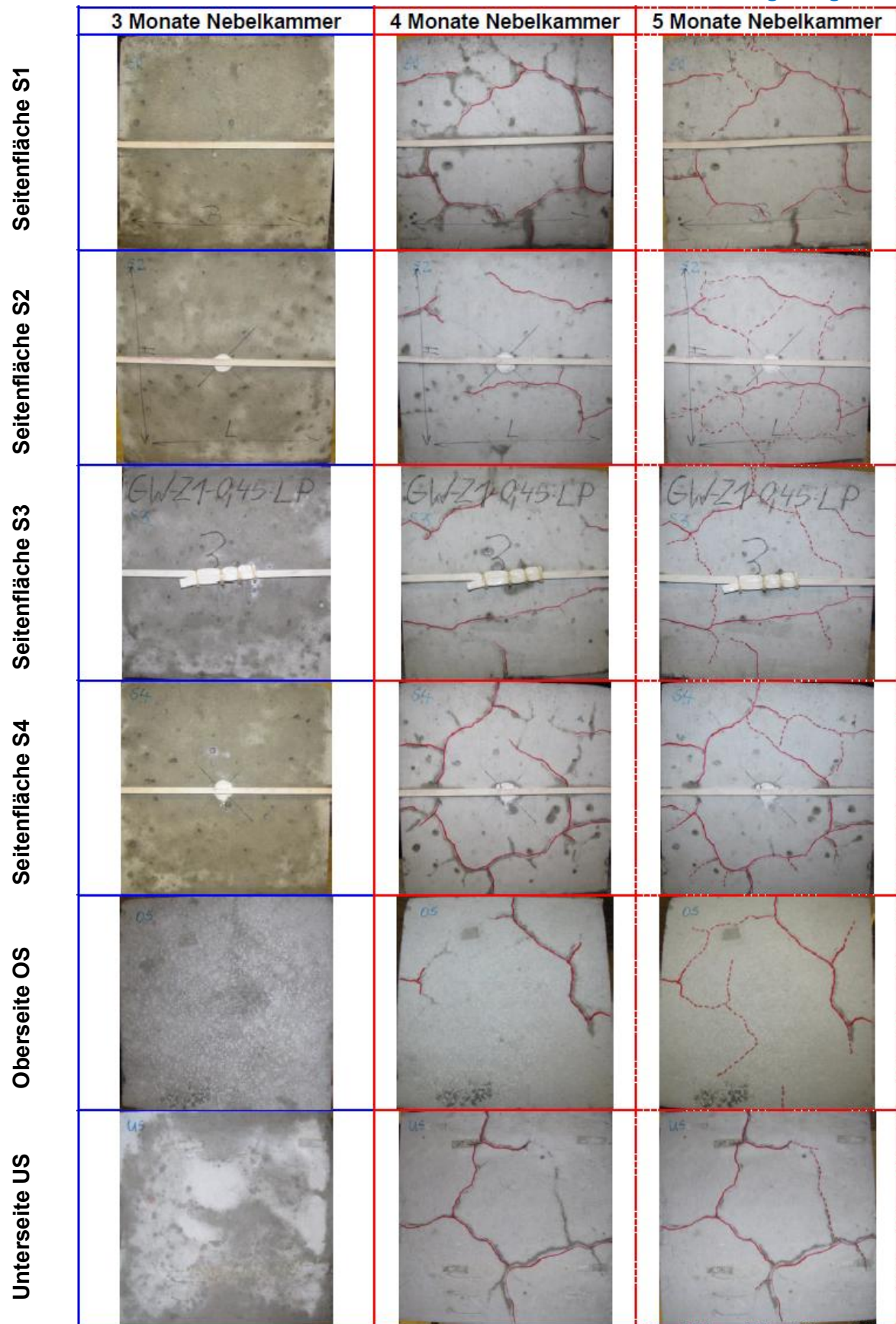


Abbildung A 134 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 und LP-Bildner während 3, 4 und 5 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

GW-Z1-0,45-LP: Rissverlauf während 40 °C-Nebelkammerlagerung

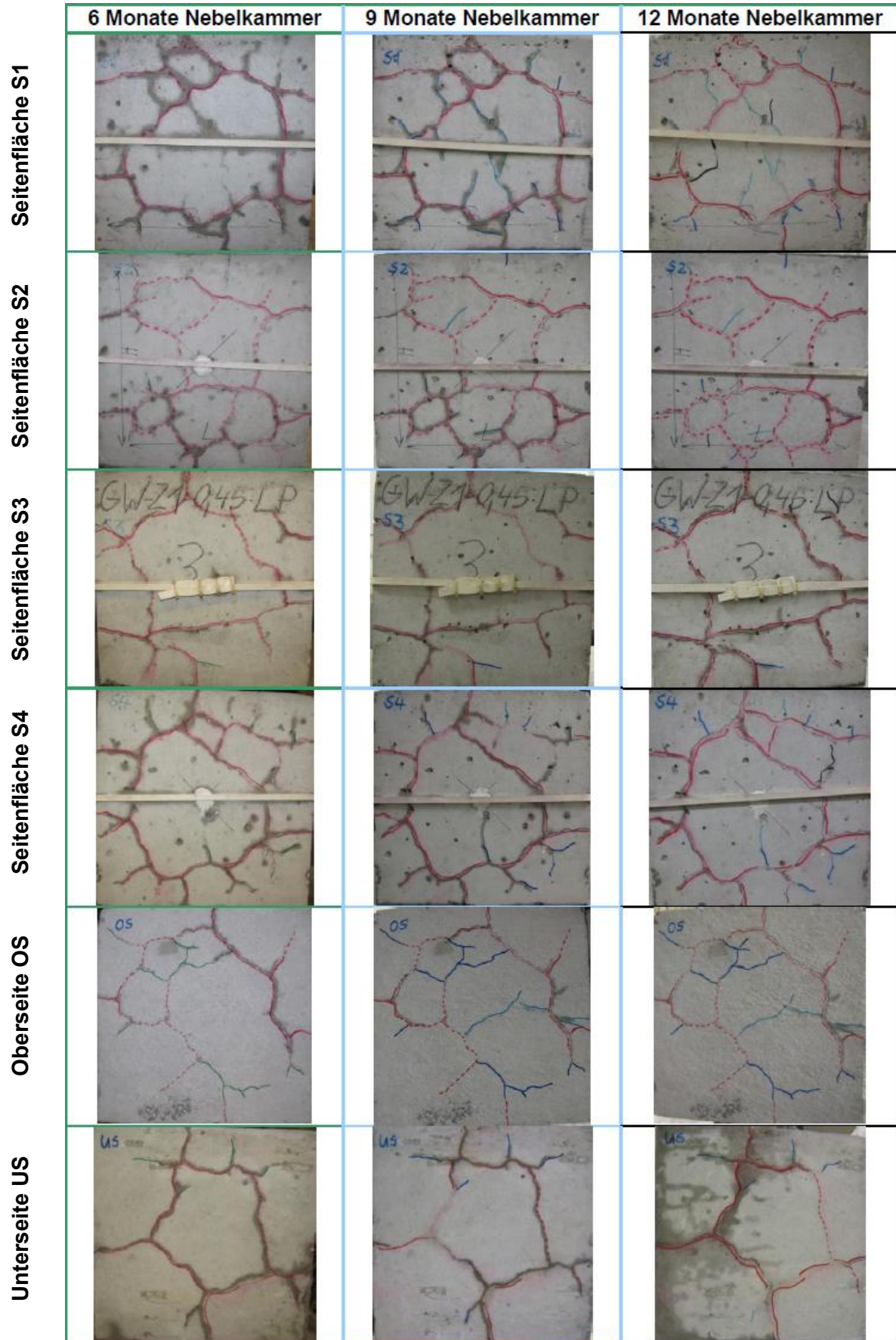


Abbildung A 135 Rissentwicklung am 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 und LP-Bildner während 6, 9 und 12 Monaten 40 °C-Nebelkammerlagerung

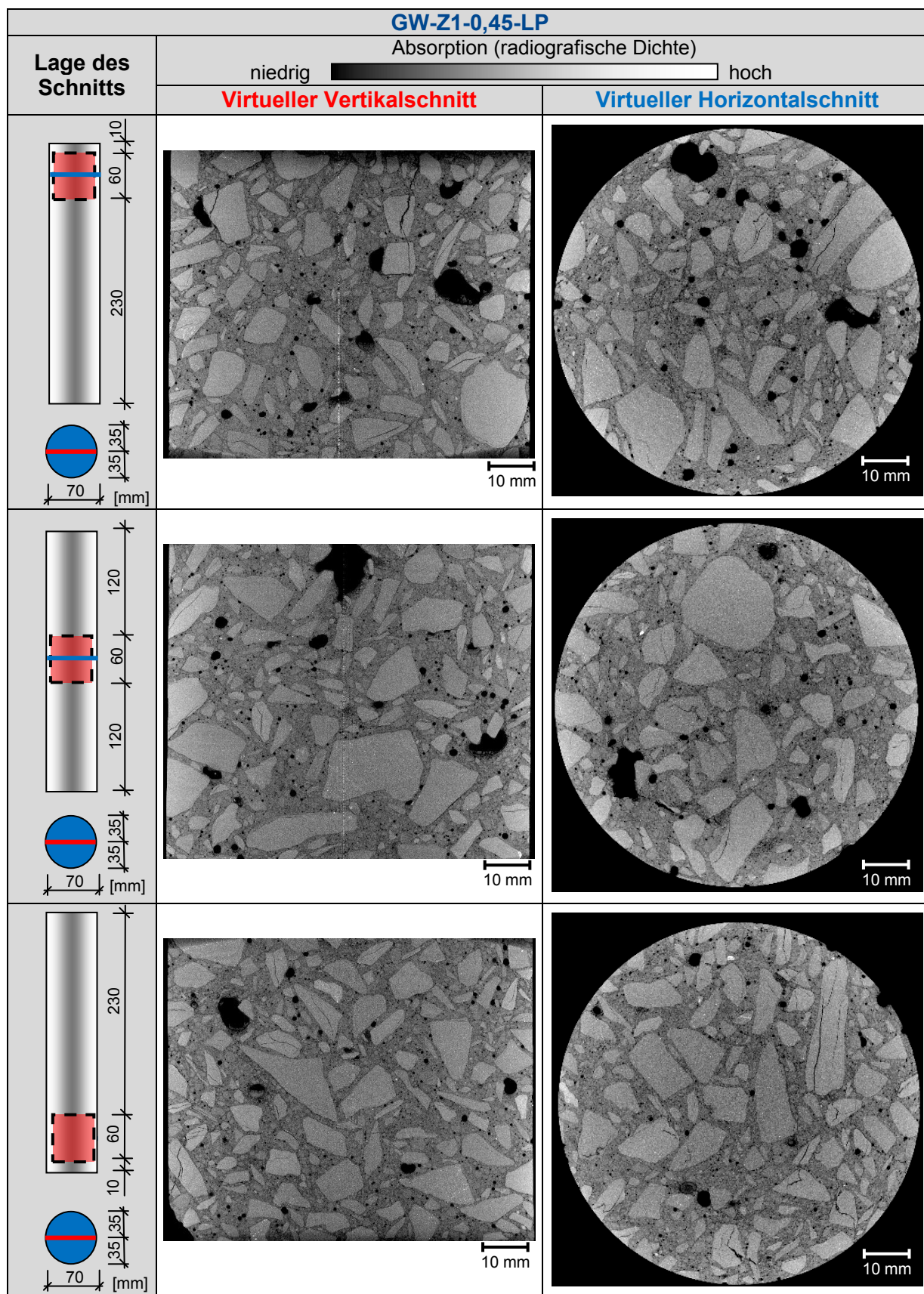


Abbildung A 136 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines aus einem 300 mm³-Würfel entnommenen Betonzylinders (Ø 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert = 0,45 und LP-Bildner nach 40 °C-Nebelkammerlagerung mit μ -3D-CT

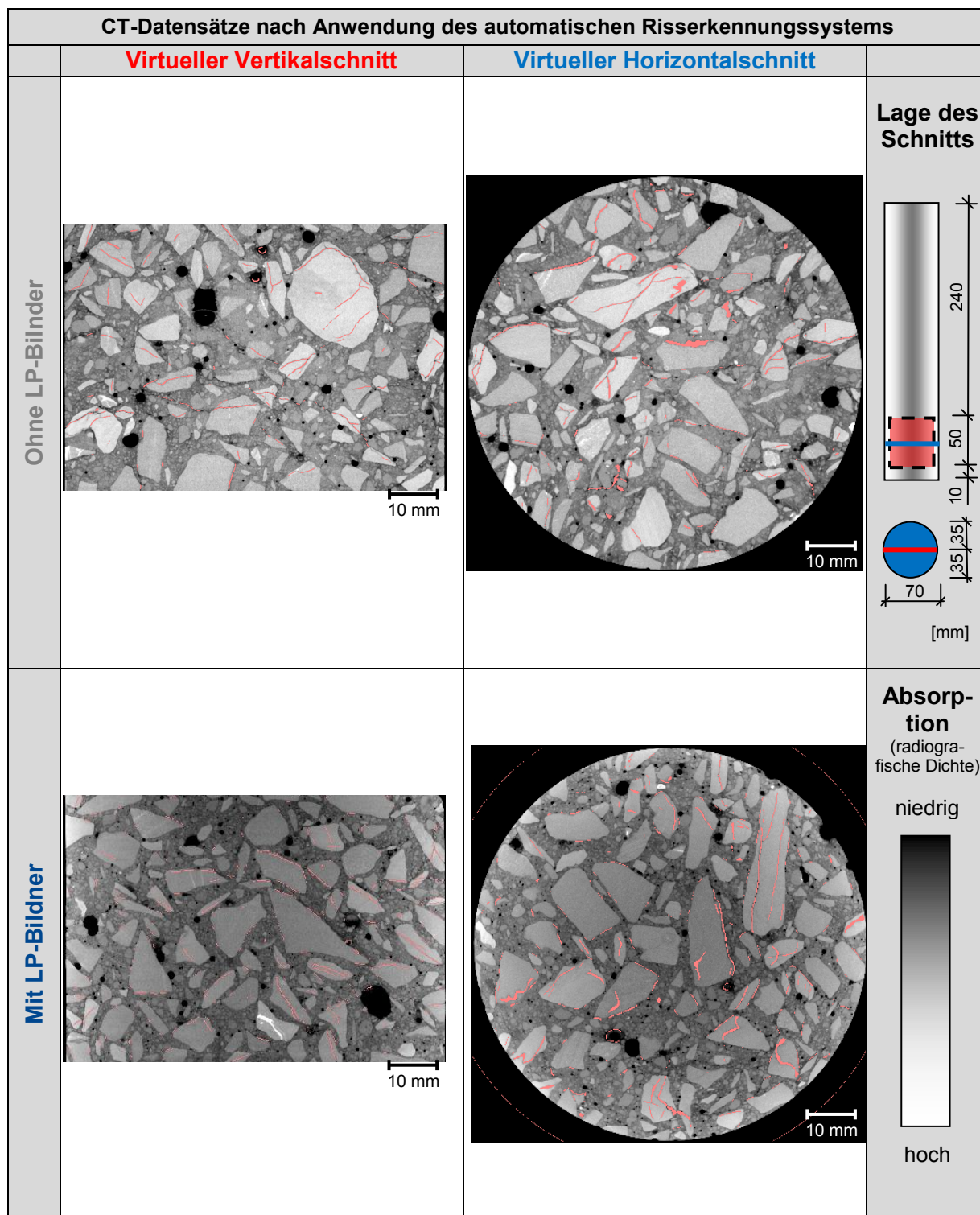


Abbildung A 137 Visualisierung der Risse von CT-Datensätzen mittels automatischem Risserkennungssystem am Beispiel der aus den 300 mm³-Würfel entnommenen Betonzylinder (Ø 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert = 0,45 mit/ohne LP-Bildner nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

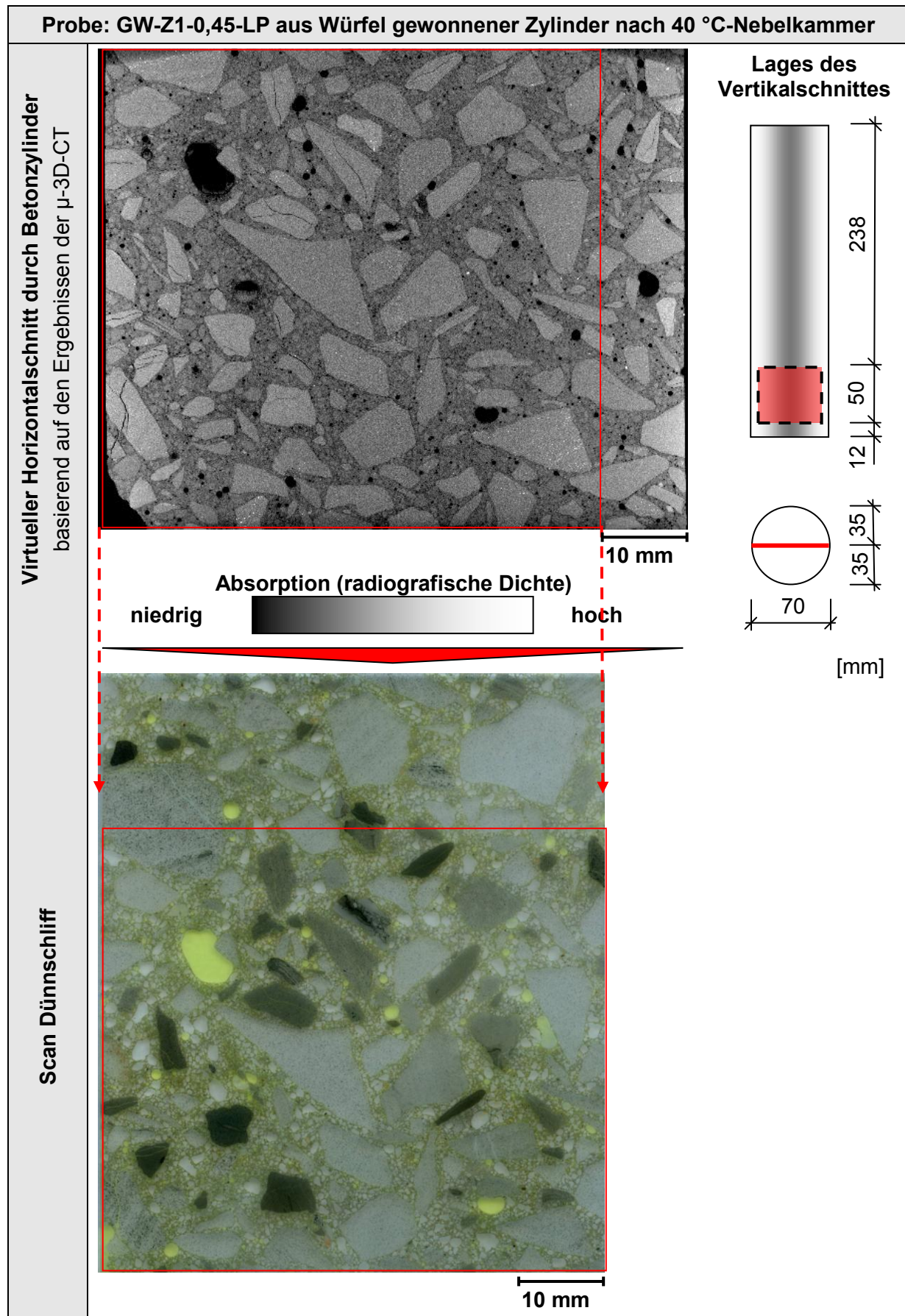


Abbildung A 138 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt aus 300 mm-Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner

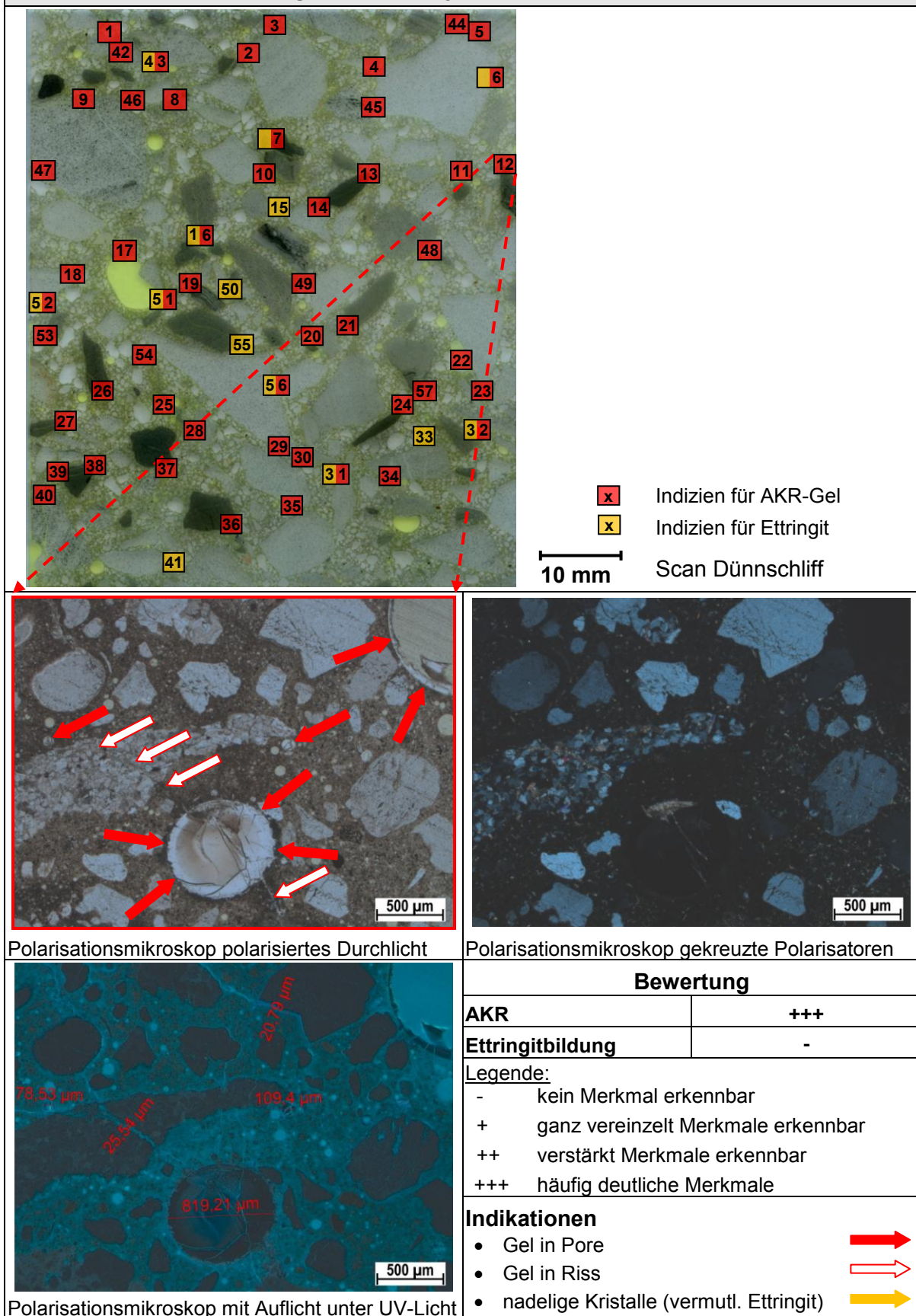
GW-Z1-0,45-LP aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 12


Abbildung A 139 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner; Detail 12: kleine und große Poren sowie Risse vollständig mit AKR-Gel gefüllt

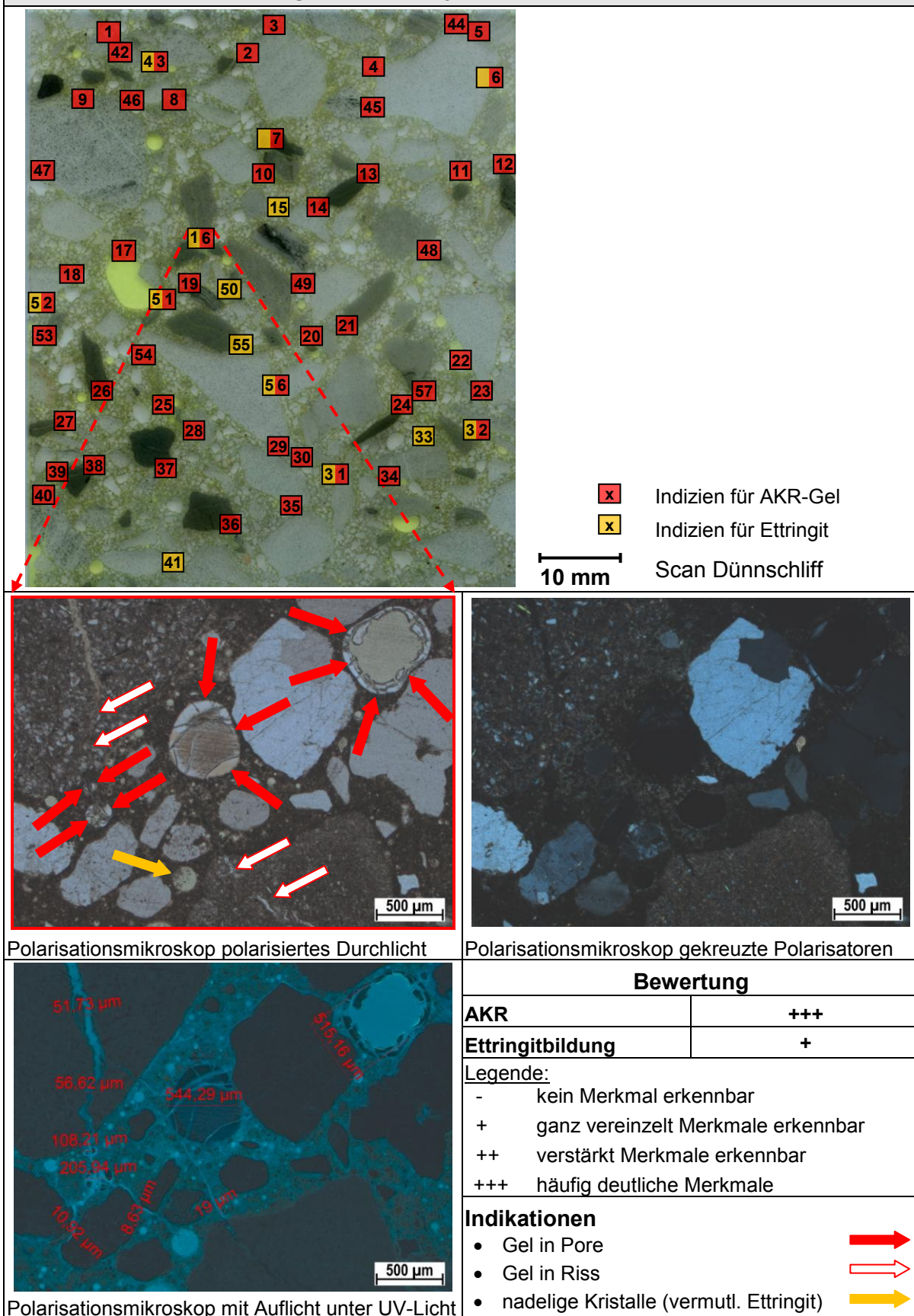
GW-Z1-0,45-LP aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nebelkammer – Detail 16


Abbildung A 140 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner; Detail 16: Poren und Risse teilweise mit AKR-Gel gefüllt und Pore mit Ettringit an Wandung

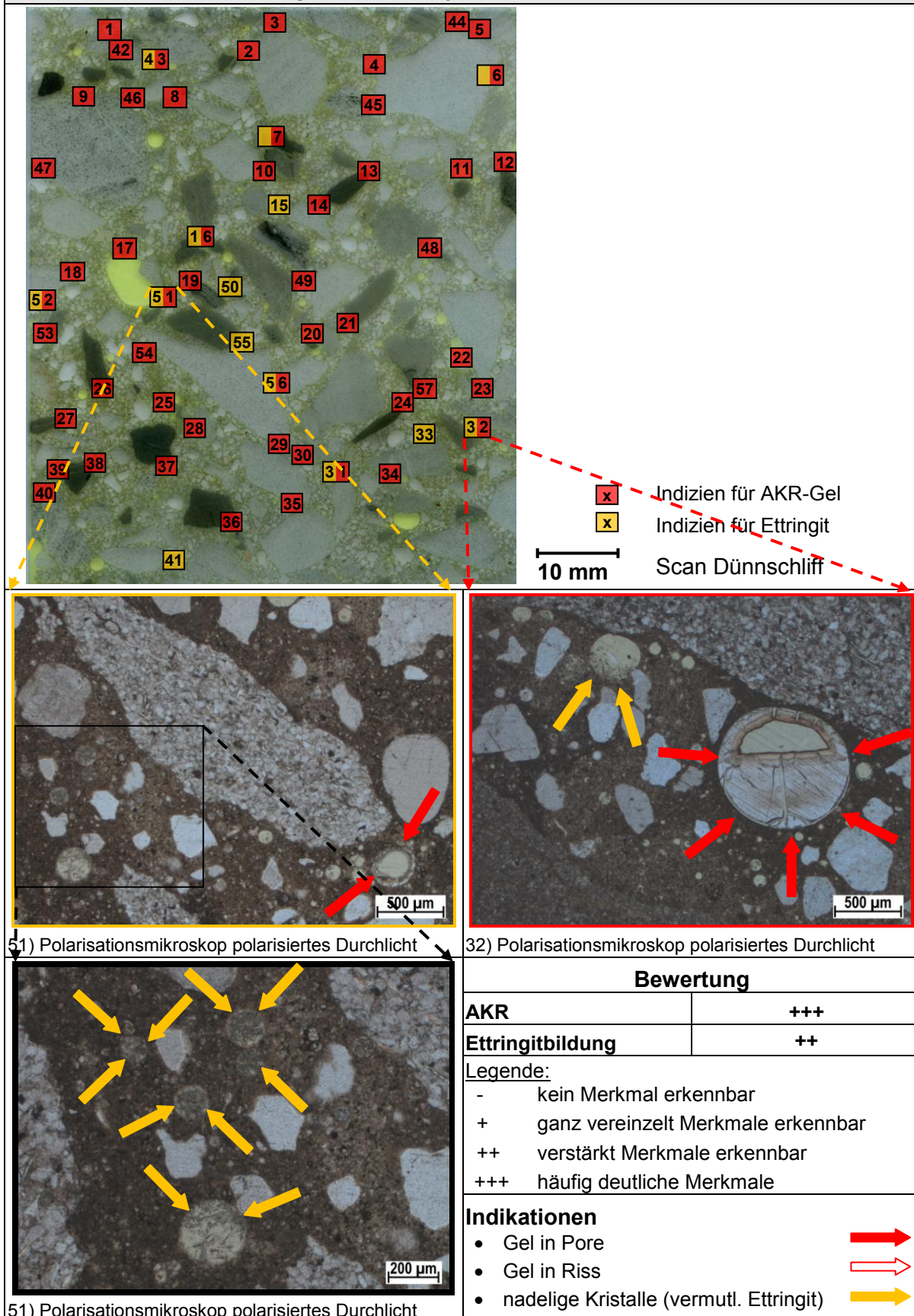
GW-Z1-0,45-LP aus Würfel gewonnener Zylinder nach 40 °C-Nk: Detail 32 und 51


Abbildung A 141 Dünnschliffuntersuchung am Würfel nach 40 °C-Nebelkammer; Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 und LP-Bildner; Detail 32: Pore mit AKR-Gel gefüllt & Ettringit an Porenwandung; Detail 51: kleine Poren mit Ettringit gefüllt

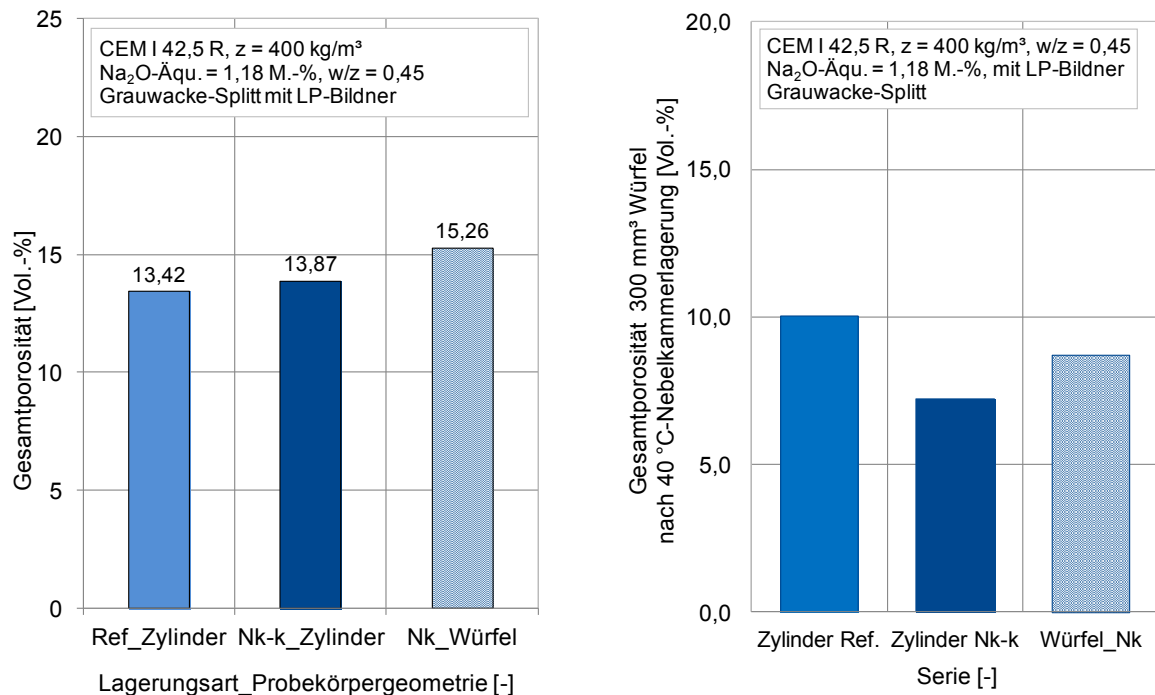


Abbildung A 142 gemittelte Gesamtporosität gemäß DIN 66137-1 (links) bzw. mittels Hg-Porosimetrie (rechts) der Betonzylinder Ø 70 mm, L 280 mm bzw. 300 mm³-Betonwürfel mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 mit LP-Bildner nach 20 C-Lagerung über Wasser bzw. 40 °C-Nebelkammerlagerung

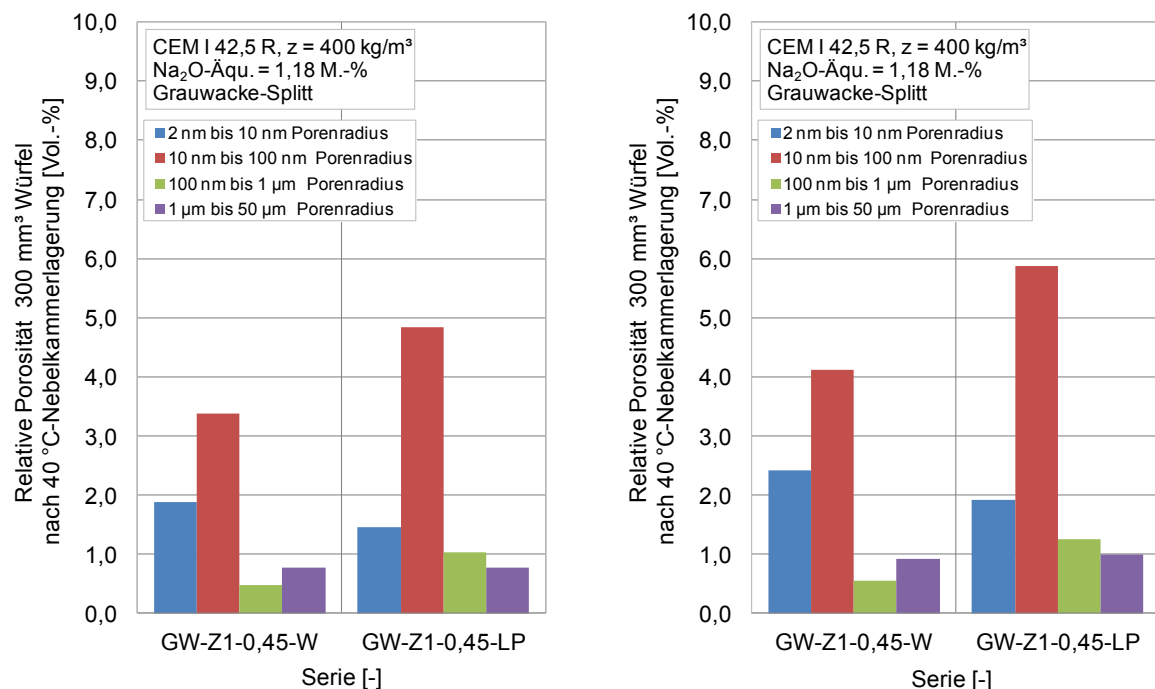


Abbildung A 143 Porenradienverteilung mittels Hg-Porosimetrie im oberen (links) und mittleren (rechts) Bereich des 300 mm³-Betonwürfels mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 mit/ohne LP-Bildner nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

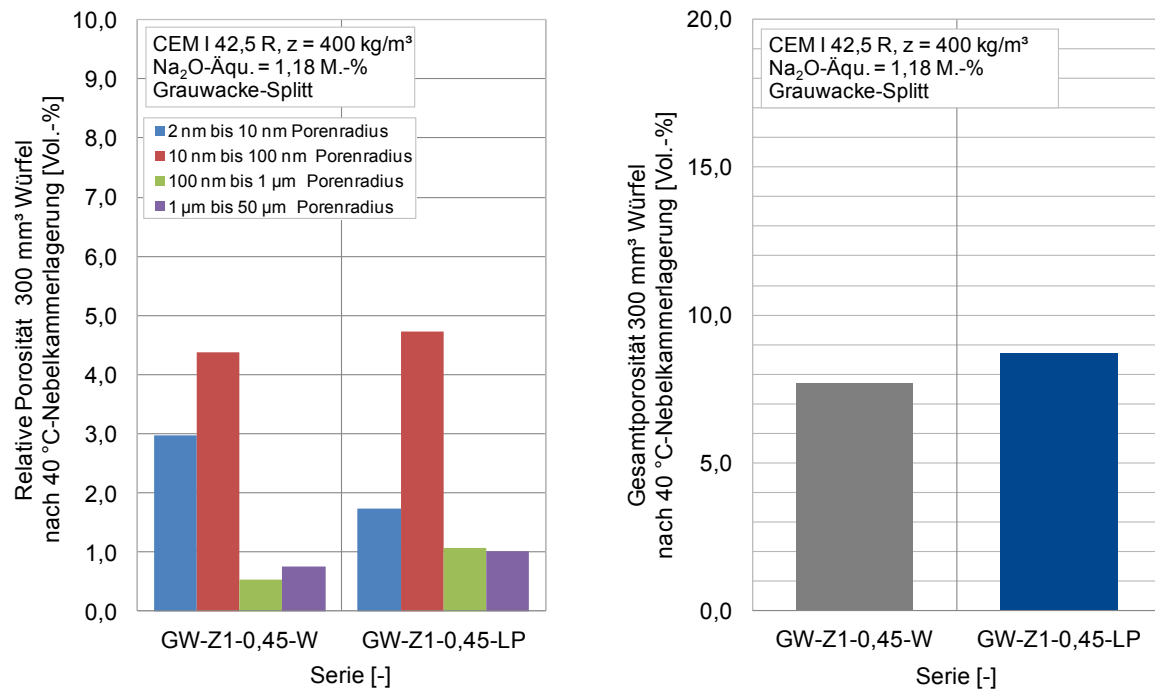


Abbildung A 144 Porenradienverteilung mittels Hg-Porosimetrie im unteren Bereich des 300 mm³-Betonwürfels (links) und gemittelte Gesamtporosität des 300 mm³-Betonwürfels (rechts) mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 mit/ohne LP-Bildner nach 40 °C-Nebelkammerlagerung

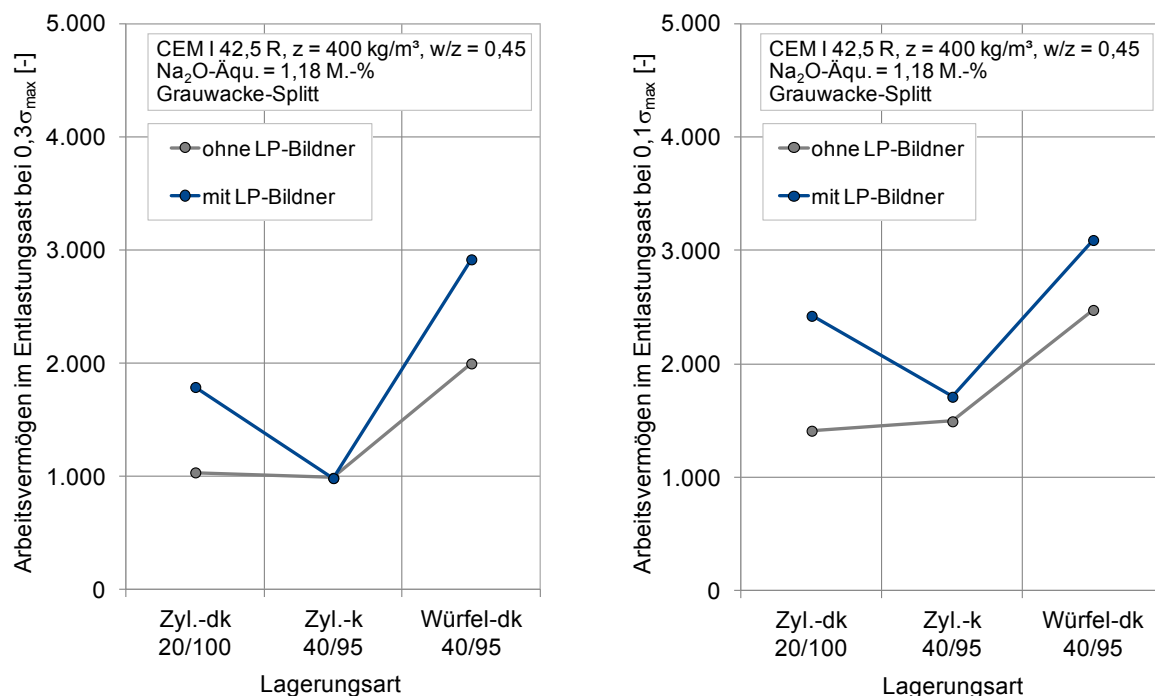


Abbildung A 145 Einfluss der Probekörpergeometrie nach 336 Tagen 40 °C-Nebelkammerlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 30 % (links) und 10 % (rechts) der maximalen Druckspannung - von Beton mit Grauwacke-Splitt mit/ohne LP-Bildner bei einem w/z-Wert von 0,45

60 °C-Betonversuch über Wasser

➤ Masse von Zylindern (Ø 70 mm, L 280 mm)

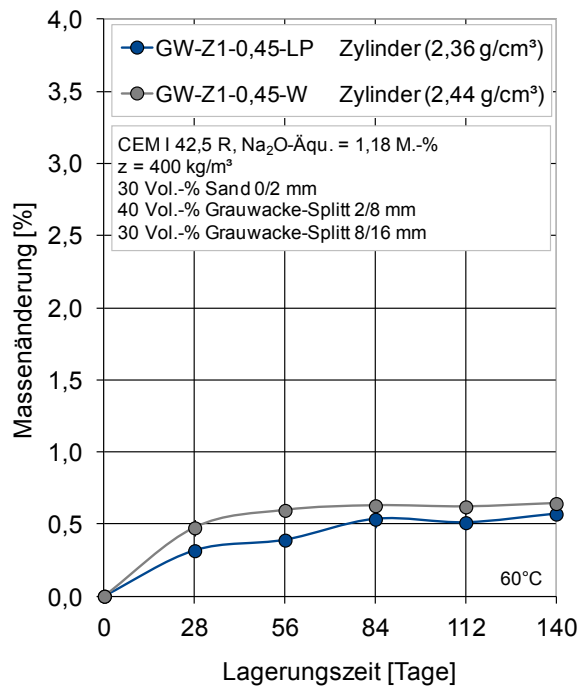


Abbildung A 146 Masse von Betonzylindern Ø 70 mm, l = 280 mm mit Grauwacke-Splitt beim w/z-Wert von 0,45 mit/ohne LP-Bildner im 60 °C-Betonversuch über Wasser

- Ergebnisse mittels μ -3D-CT zur räumlichen und zeitlichen Visualisierung der Risse, etc.

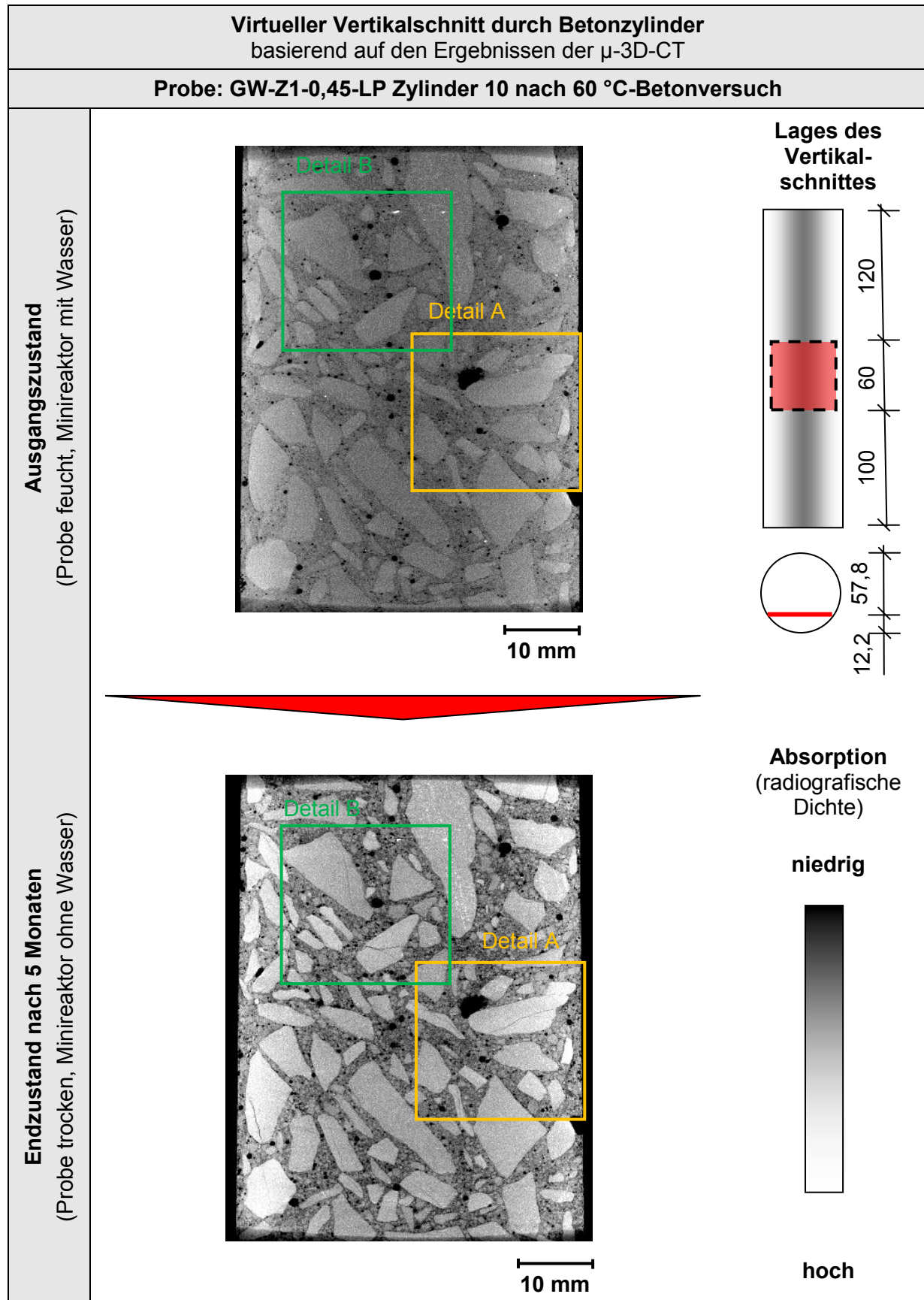


Abbildung A 147 Visualisierung des inneren Gefügestandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert = 0,45 und LP-Bildner vor und nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT

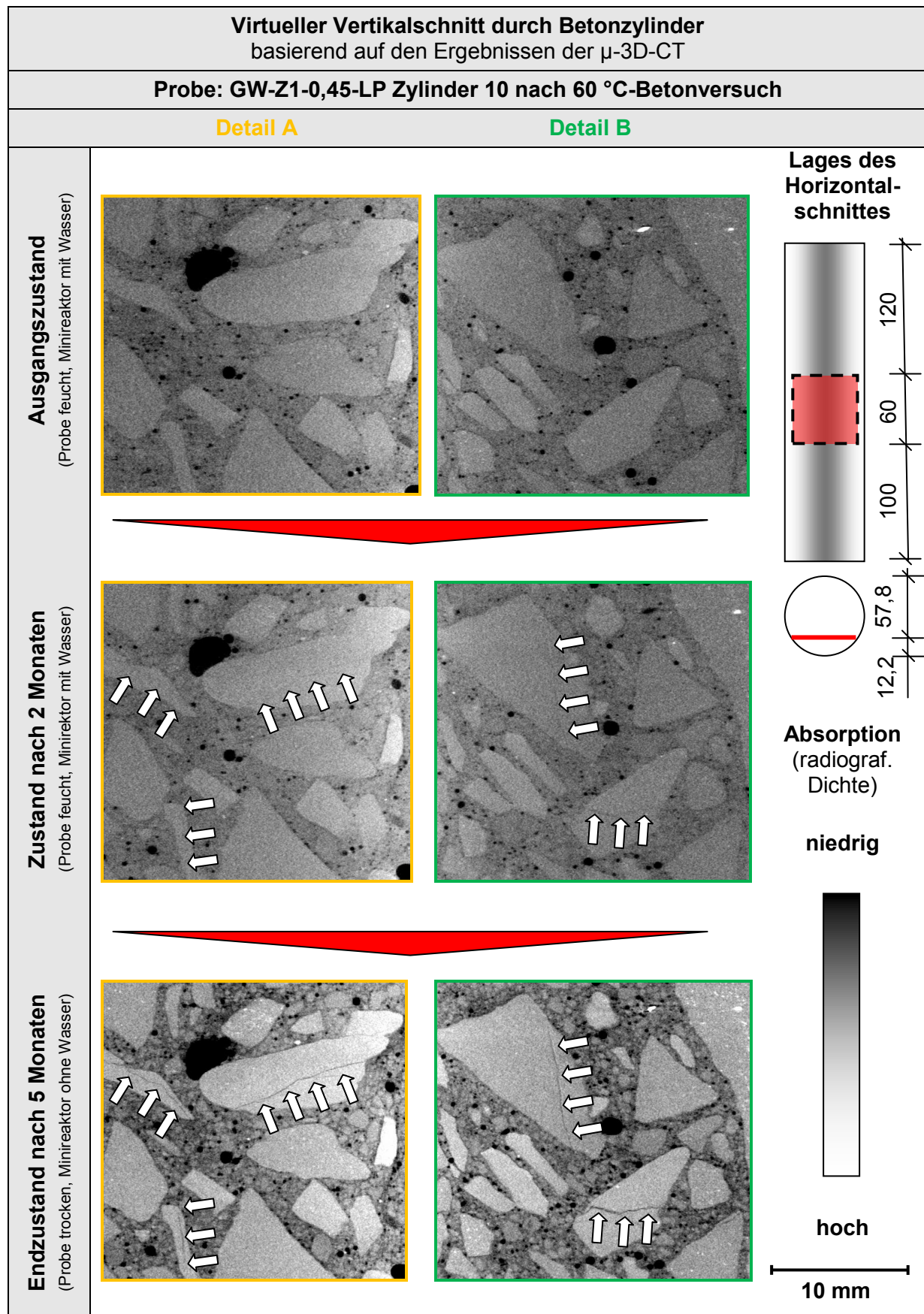


Abbildung A 148 Visualisierung des inneren Gefügezustandes eines kontinuierlich gelagerten Betonzylinders (\varnothing 70 mm, L 280 mm) mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert = 0,45, LP-Bildner vor, während, nach 60 °C-Betonversuch mit μ -3D-CT: Details A+B

➤ Mikroskopische Ergebnisse am Zylinder (Ø 70 mm, L 280 mm)

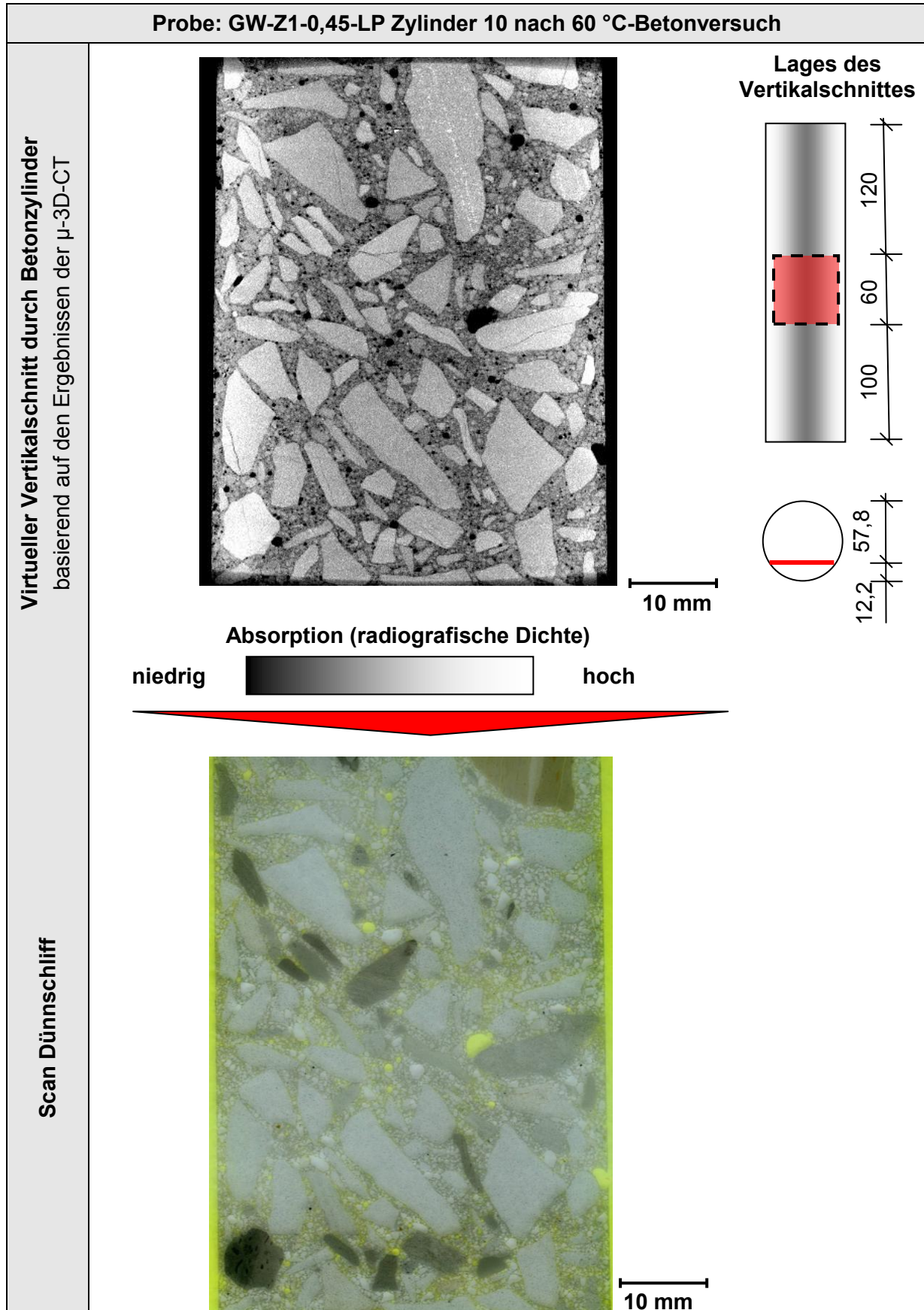


Abbildung A 149 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Betonzylinders (Ø 70 mm, l 280 mm) nach 60 °C-Betonversuch; Beton mit Grauwacke-Splitt und LP-Bildner bei einem w/z-Wert von 0,45

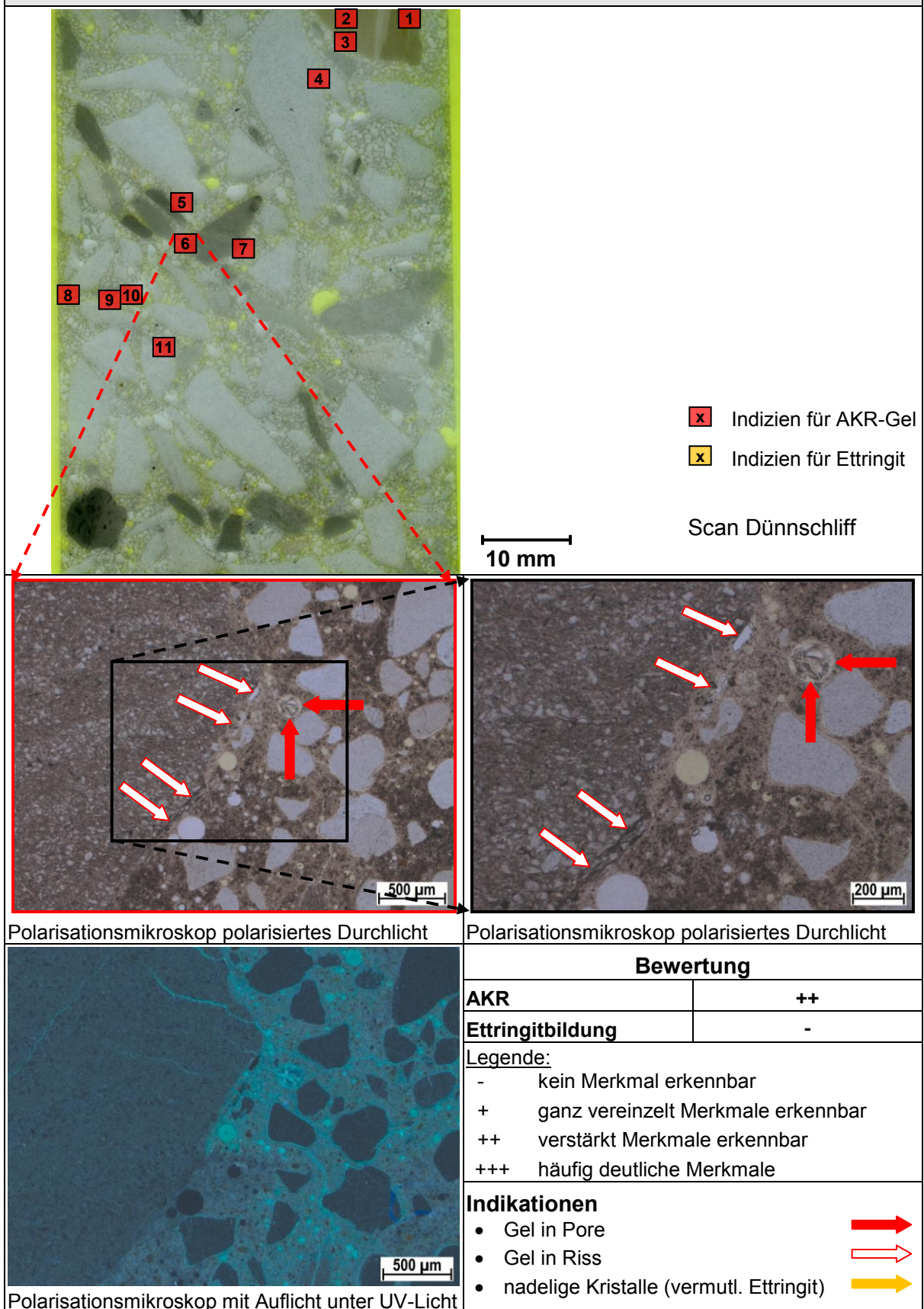
Probe: GW-Z1-0,45-LP Zylinder 10 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 6


Abbildung A 150 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt von Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner nach 60 °C-Betonversuch; Detail 6: AKR-Gel in Pore und Riss

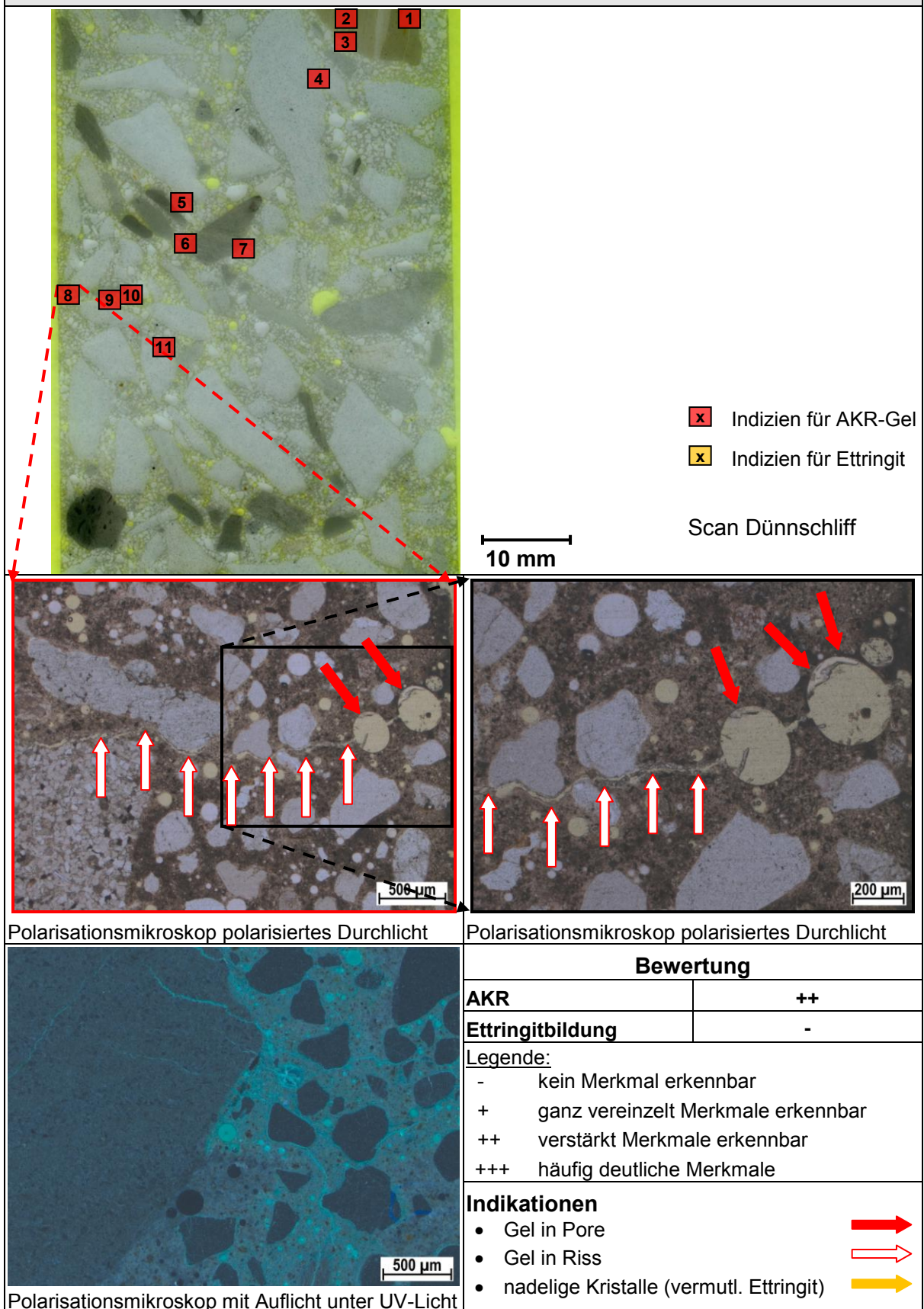
Probe: GW-Z1-0,45-LP Zylinder 10 nach 60 °C-Betonversuch – Detailbild 8


Abbildung A 151 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt von Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z-Wert von 0,45 und LP-Bildner nach 60 °C-Betonversuch; Detail 8: AKR-Gel in Pore und Riss

Verformungsverhalten Betonzylinder

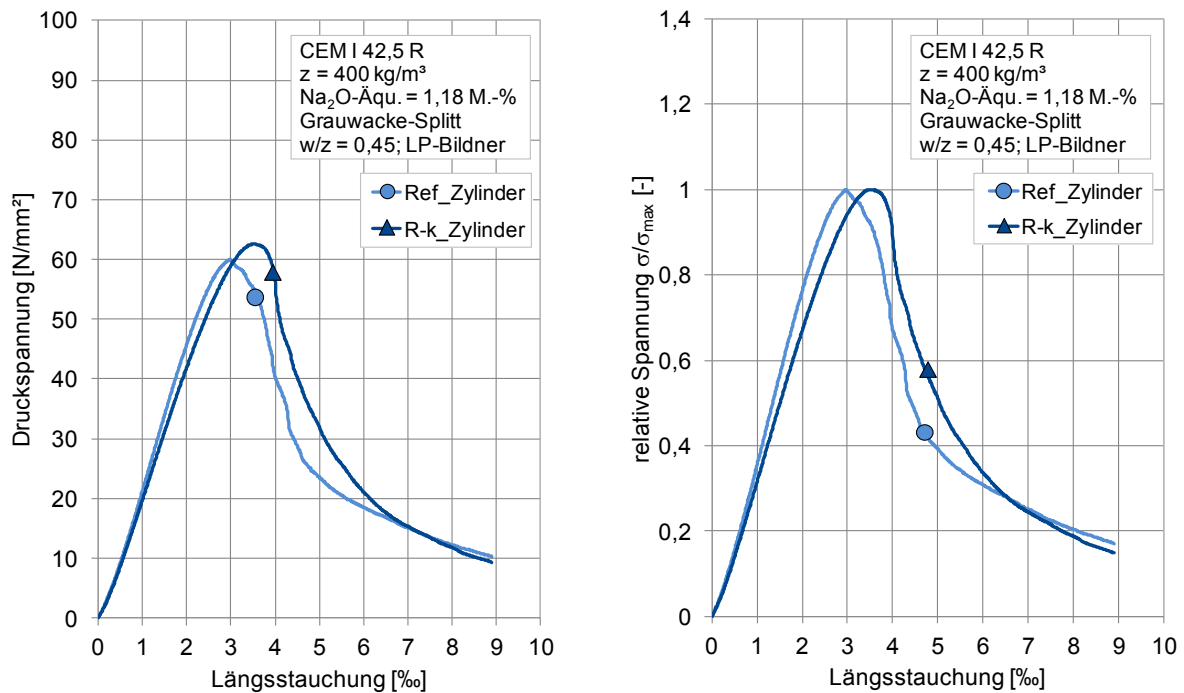


Abbildung A 152 Einfluss der kontinuierlichen Lagerung im 60 °C-Betonversuch über Wasser im Vergleich zur Referenzlagerung bei 20 °C über Wasser auf die Spannungs-Stauchungs-Linie (links) und relative Spannung (rechts) von Beton mit Grauwacke-Splitt und LP-Bildner bei einem w/z-Wert von 0,45

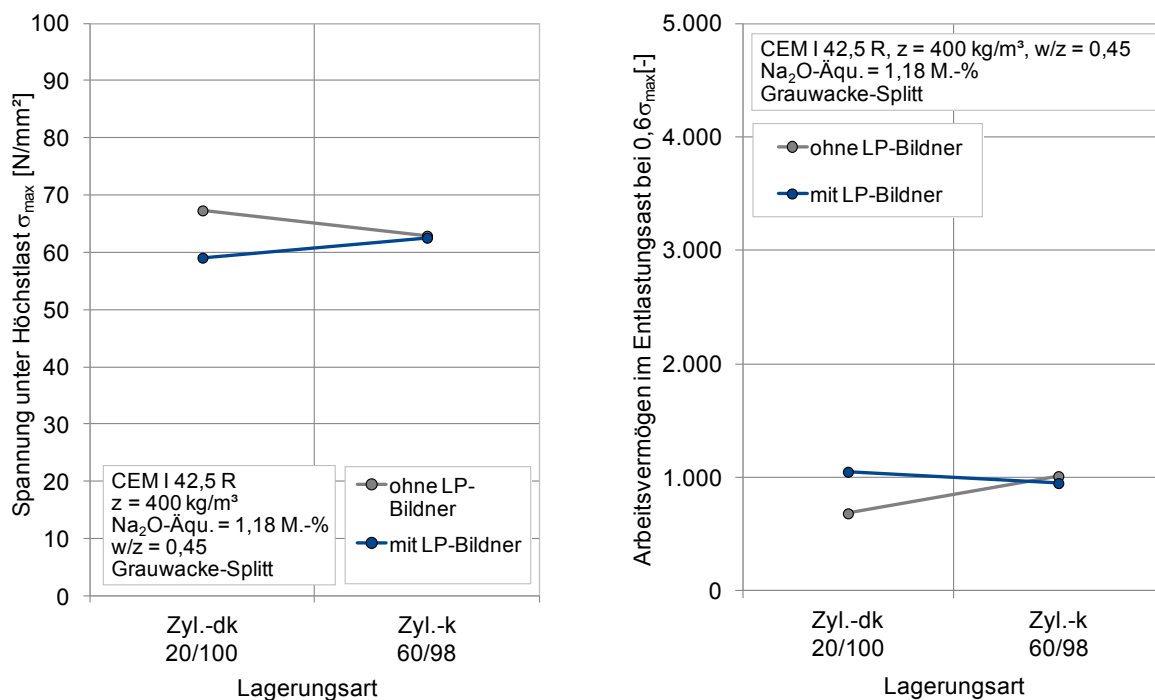


Abbildung A 153 Einfluss der Probekörpergeometrie nach 140 Tagen 60 °C-Betonversuch im Vergleich zu 20 °C über Wasser hinsichtlich Spannung unter Höchstlast (links) und zeitlichem Verlauf des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 60 % der maximalen Druckspannung - (rechts) am Beispiel von Beton mit Grauwacke-Splitt, w/z = 0,45 mit/ohne LP-Bildner

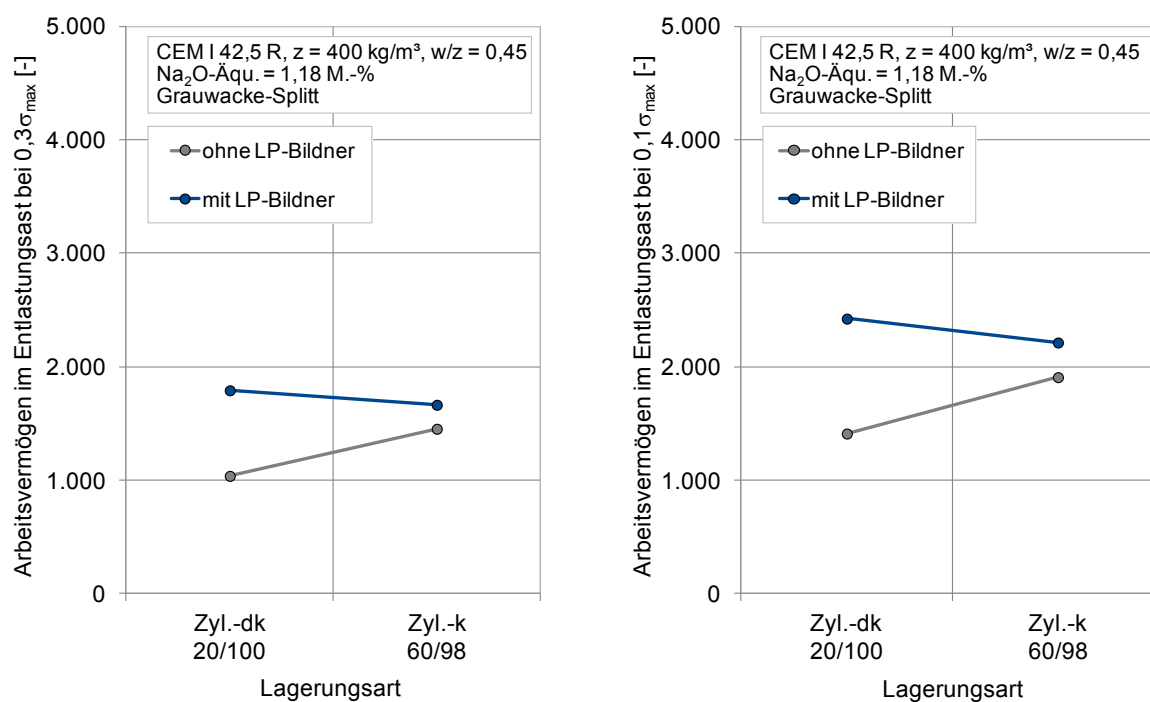


Abbildung A 154 Vergleich von Referenzlagerung und 60 °C-Betonversuch hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Arbeitsvermögens im Entlastungsast - errechnet bis zu 30 % (links) und 10 % (rechts) der maximalen Druckspannung - von Beton mit Grauwacke-Splitt, $w/z = 0,45$ mit/ohne LP-Bildner im Alter von 140 Tagen

10.2.3 Hohes externes Schädigungspotenzial

10.2.3.1 Variation w/z-Wert

- Masse und dynamischer E-Modul von Balken (100 x 100 x 400 [mm])

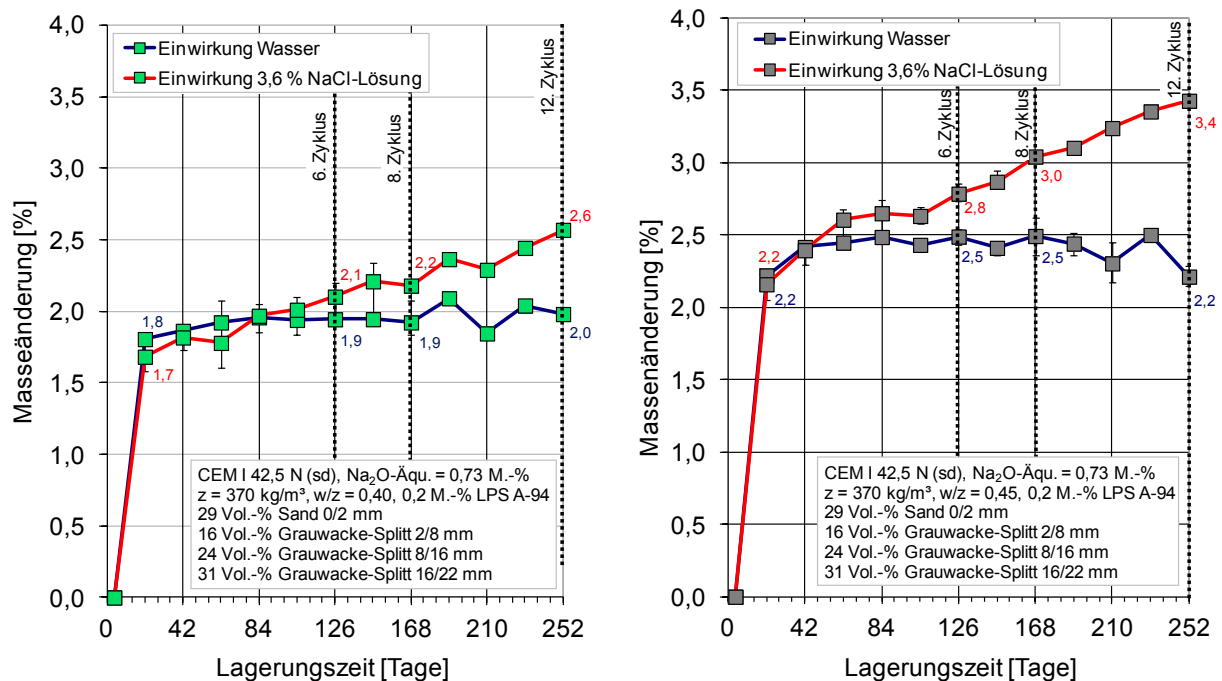


Abbildung A 155 Masse von Betonbalken 100 mm x 100 mm x 400 mm mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 (links) und 0,45 (rechts) während FIB-Klimawechsellagerung mit Nebelphase bei 40 °C

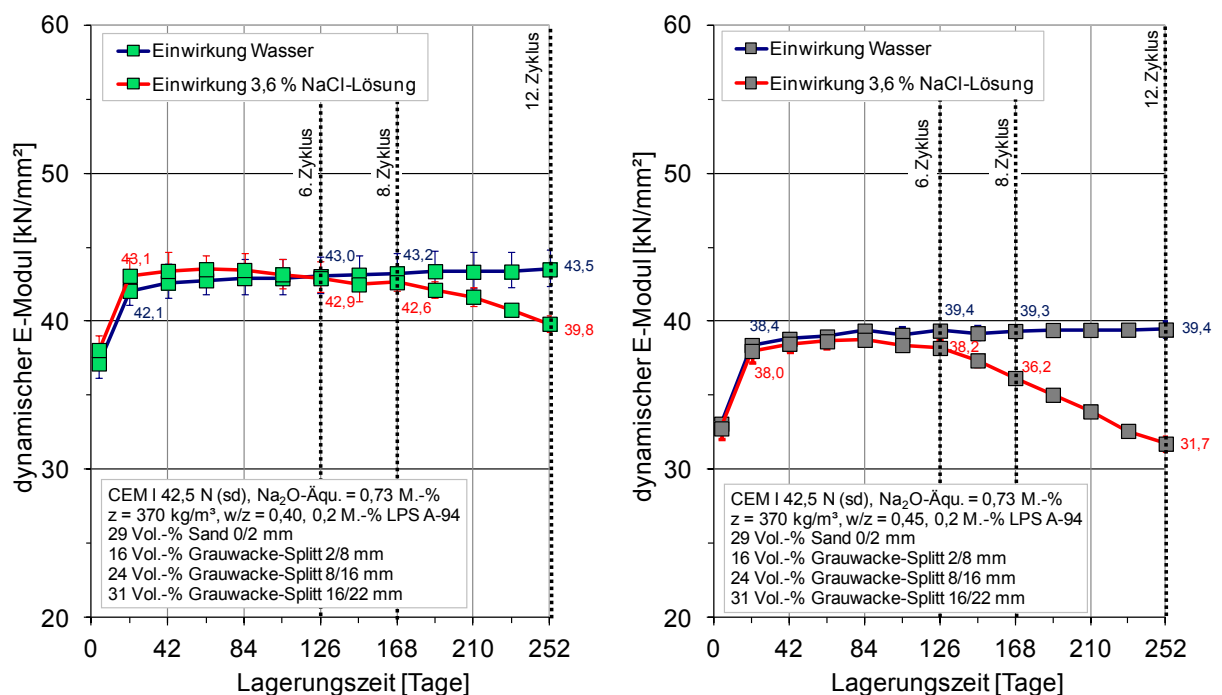


Abbildung A 156 Dynamischer E-Modul (errechnet aus Eigenschwingzeiten) von Betonbalken 100 x 100 mm x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 (links); 0,45 (rechts) während FIB-Klimawechsellagerung mit Nebelphase bei 40 °C

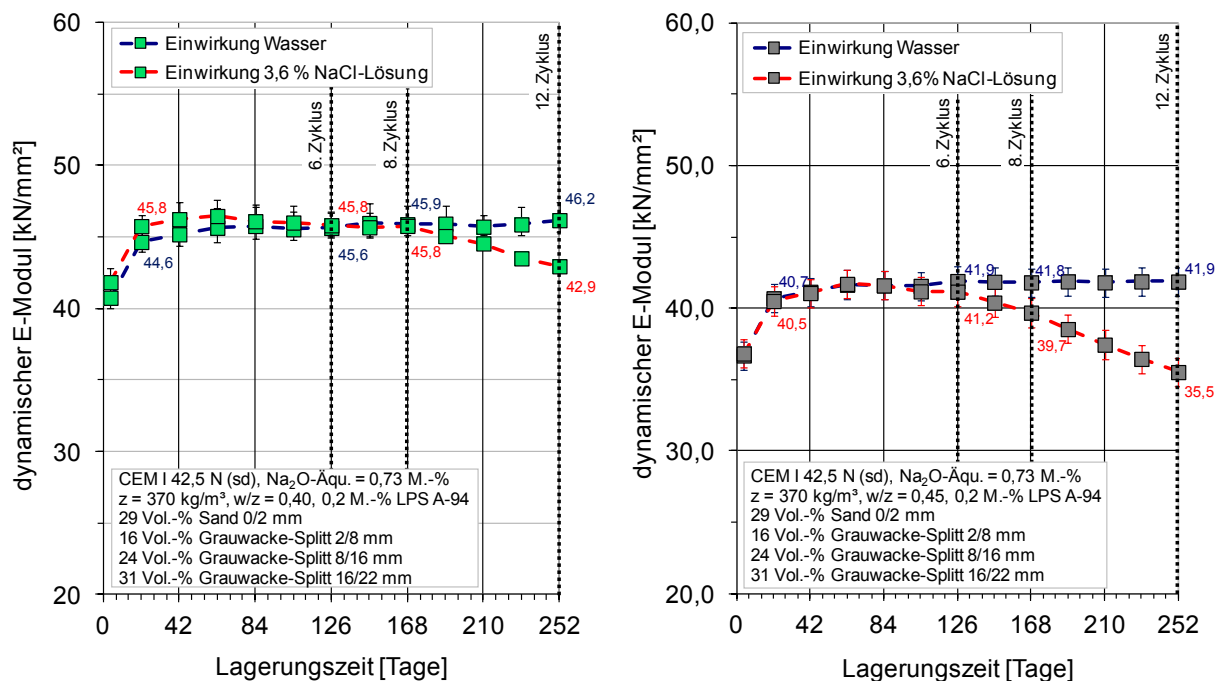


Abbildung A 157 Dynamischer E-Modul (errechnet aus Ultraschalllaufzeiten) von Betonbalken 100 x 100 mm x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 (links), 0,45 (rechts) während FIB-Klimawechselagerung mit Nebelphase bei 40 °C

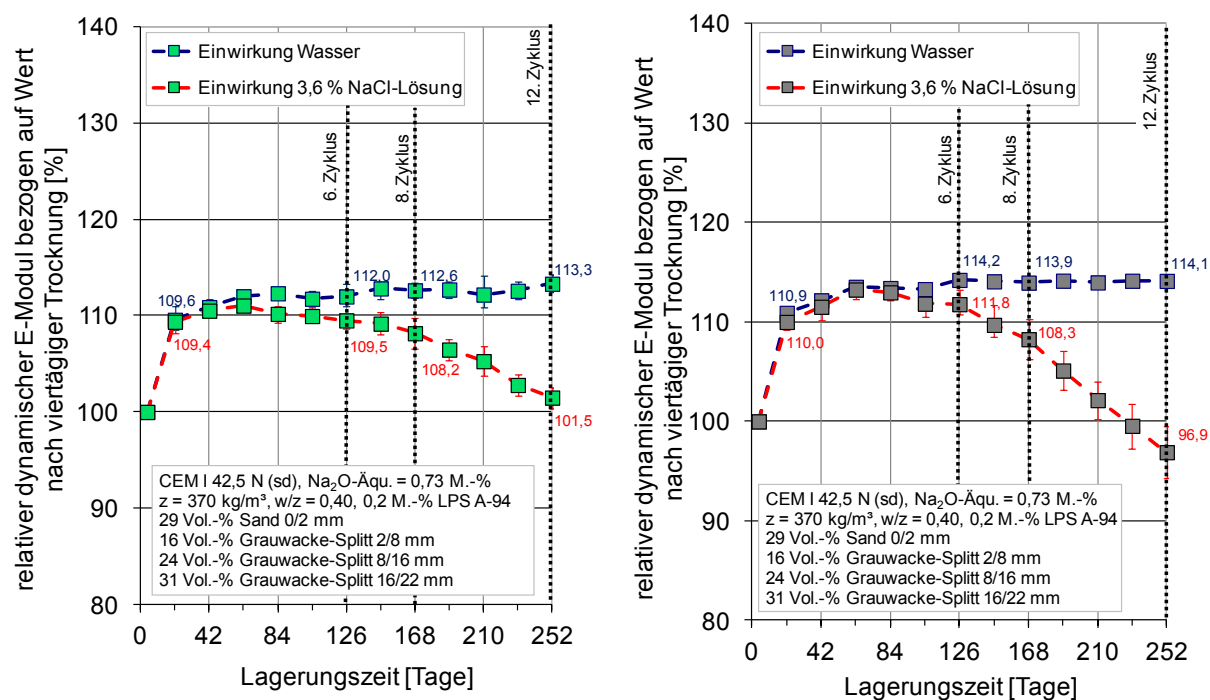


Abbildung A 158 Relativer dynamischer E-Modul (errechnet aus Ultraschalllaufzeiten) von Betonbalken 100 x 100 mm x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 (links) und 0,45 (rechts) während FIB-Klimawechselagerung mit Nebelphase bei 40 °C bezogen auf Wert nach 4tägiger Trocknung

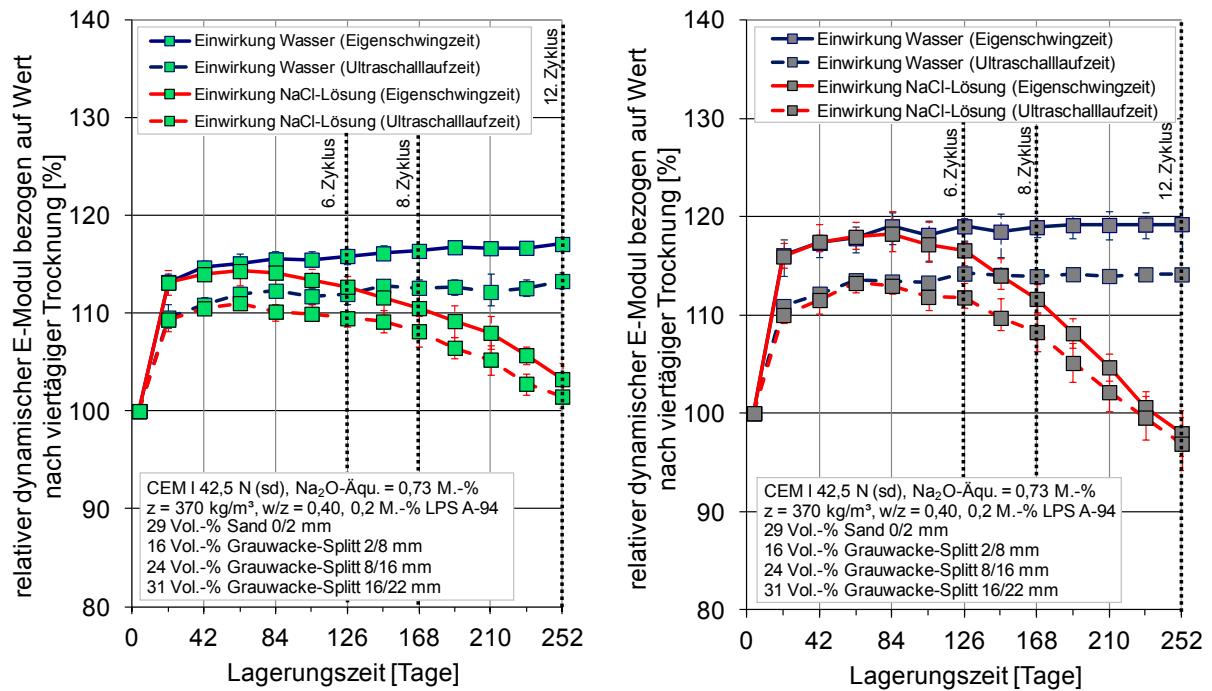


Abbildung A 159 Vergleich des relativen dynamischen Elastizitätsmoduls aus Eigenschwing- und Ultraschalllaufzeiten von Betonbalken 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 (links) und 0,45 (rechts) während FIB-Klimawechsellagerung mit Nebelphase bei 40 °C bezogen auf Wert nach viertägiger Trocknung

➤ Elementverteilung von Alkalien, Schwefel und Chlor in Betonbalken

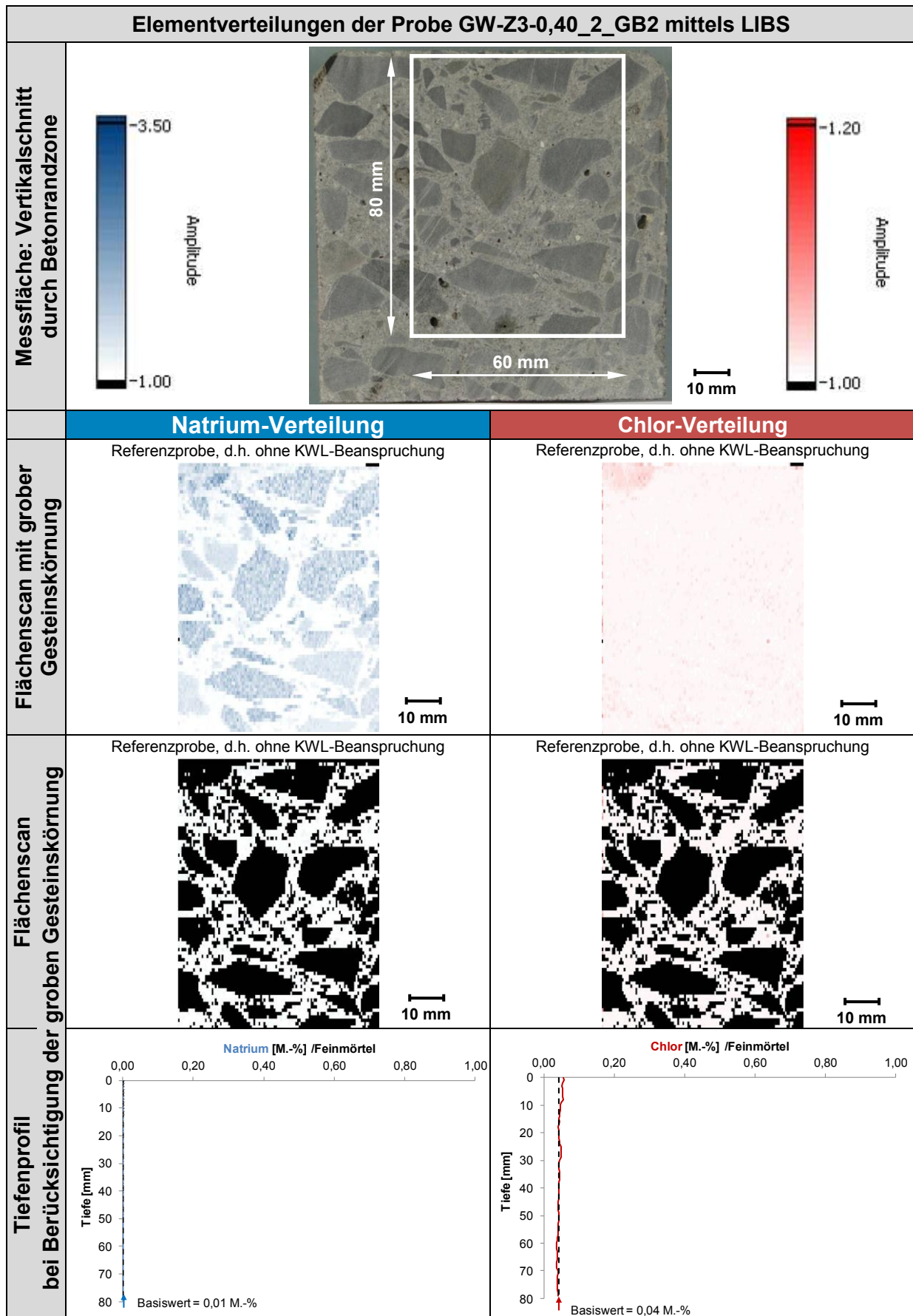


Abbildung A 160 Verteilung von Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 mittels LIBS

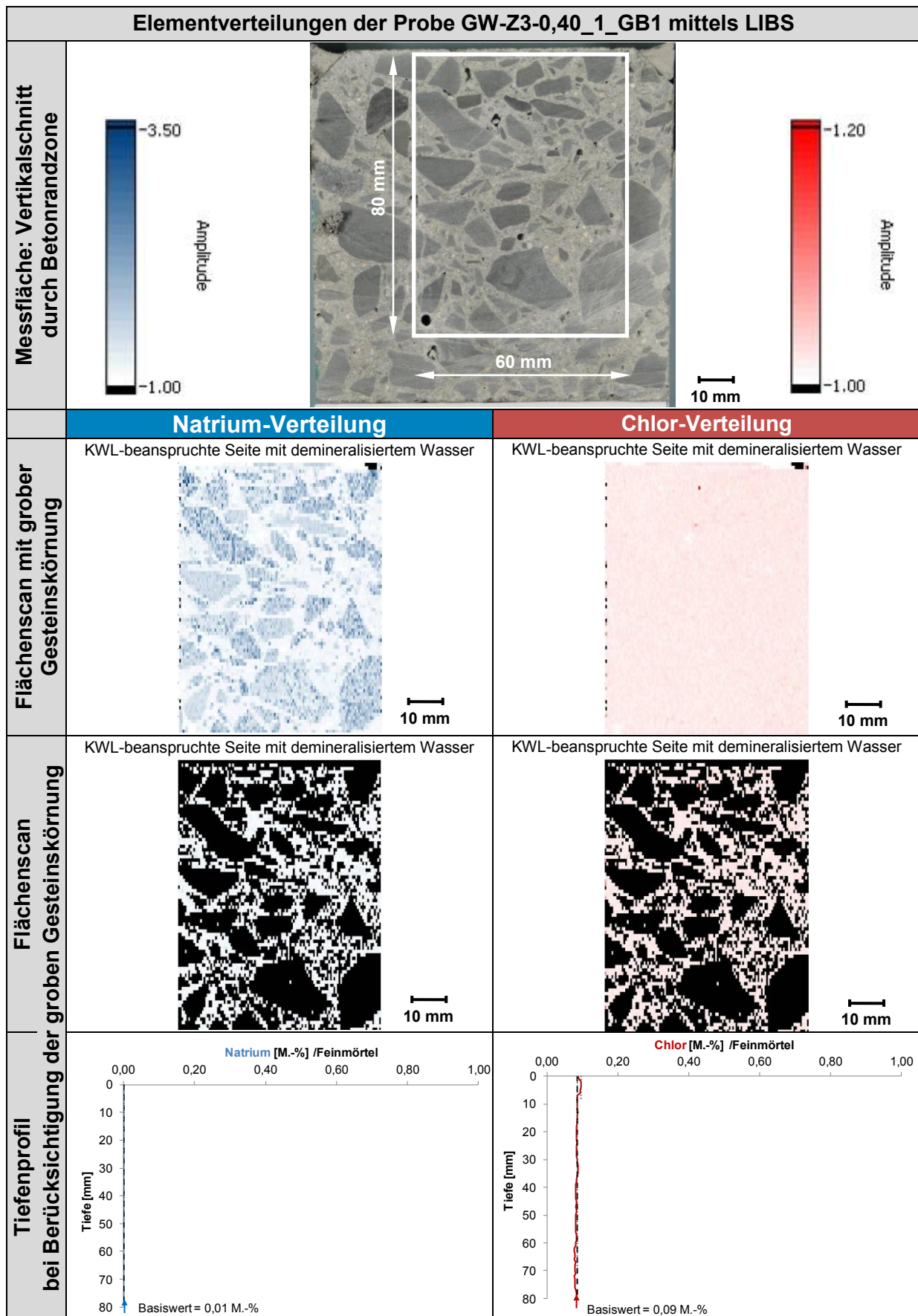


Abbildung A 161 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 mit Zemdren® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit demineralisiertem Wasser mittels LIBS

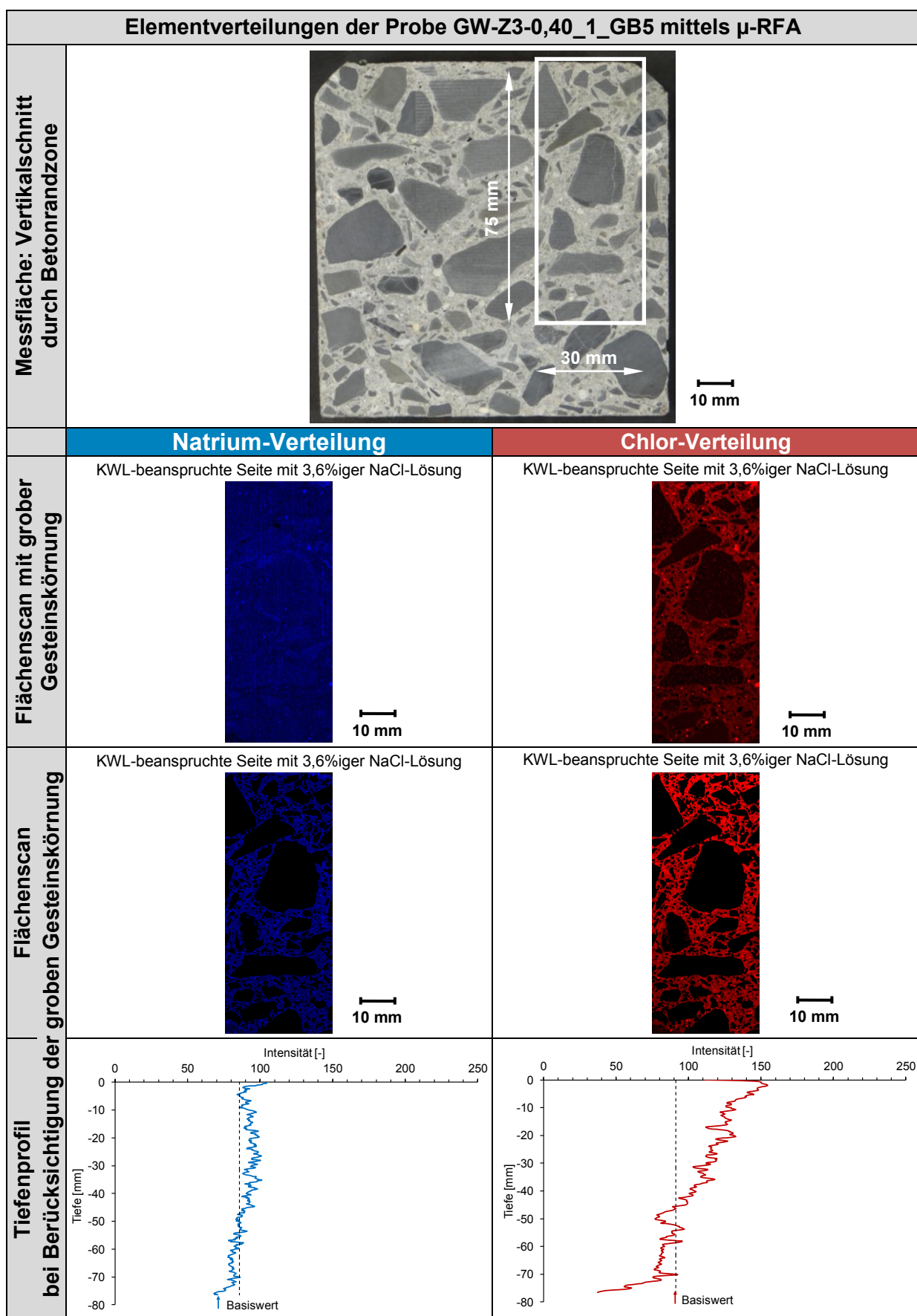


Abbildung A 162 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 mit Zemdriain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

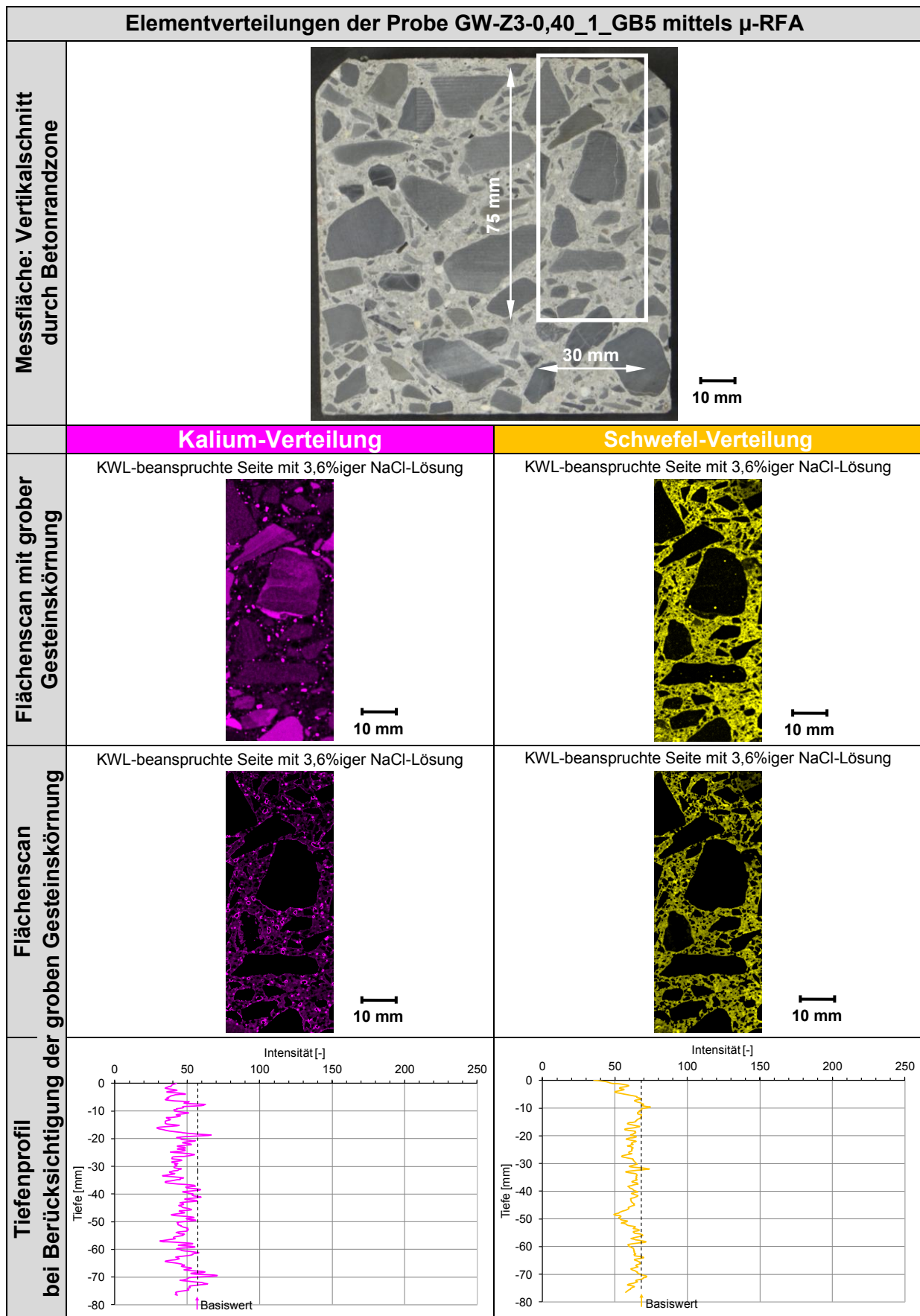


Abbildung A 163 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 mit Zemdren® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

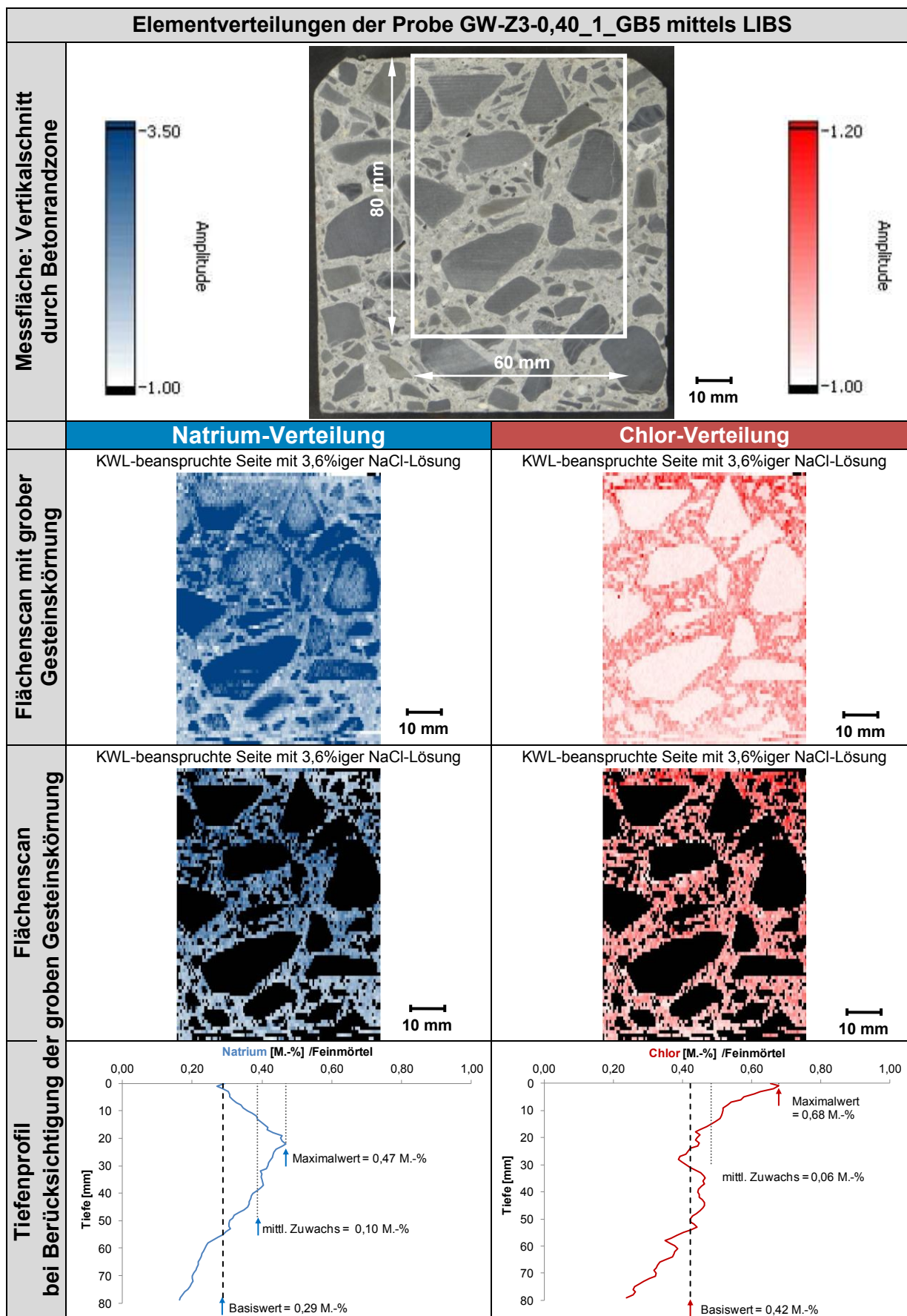


Abbildung A 164 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 mit Zemdriain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

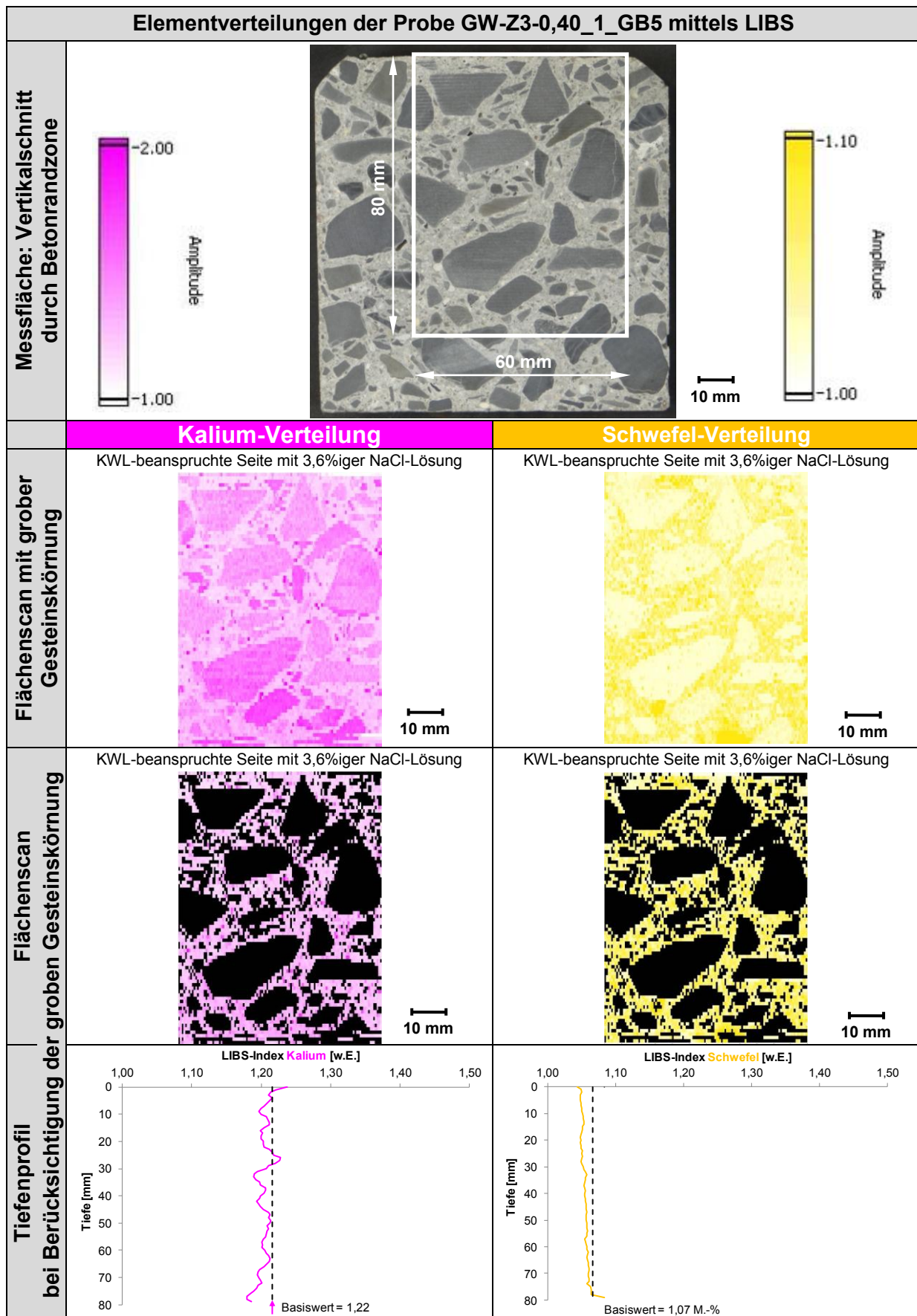


Abbildung A 165 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,40 mit Zemdren® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

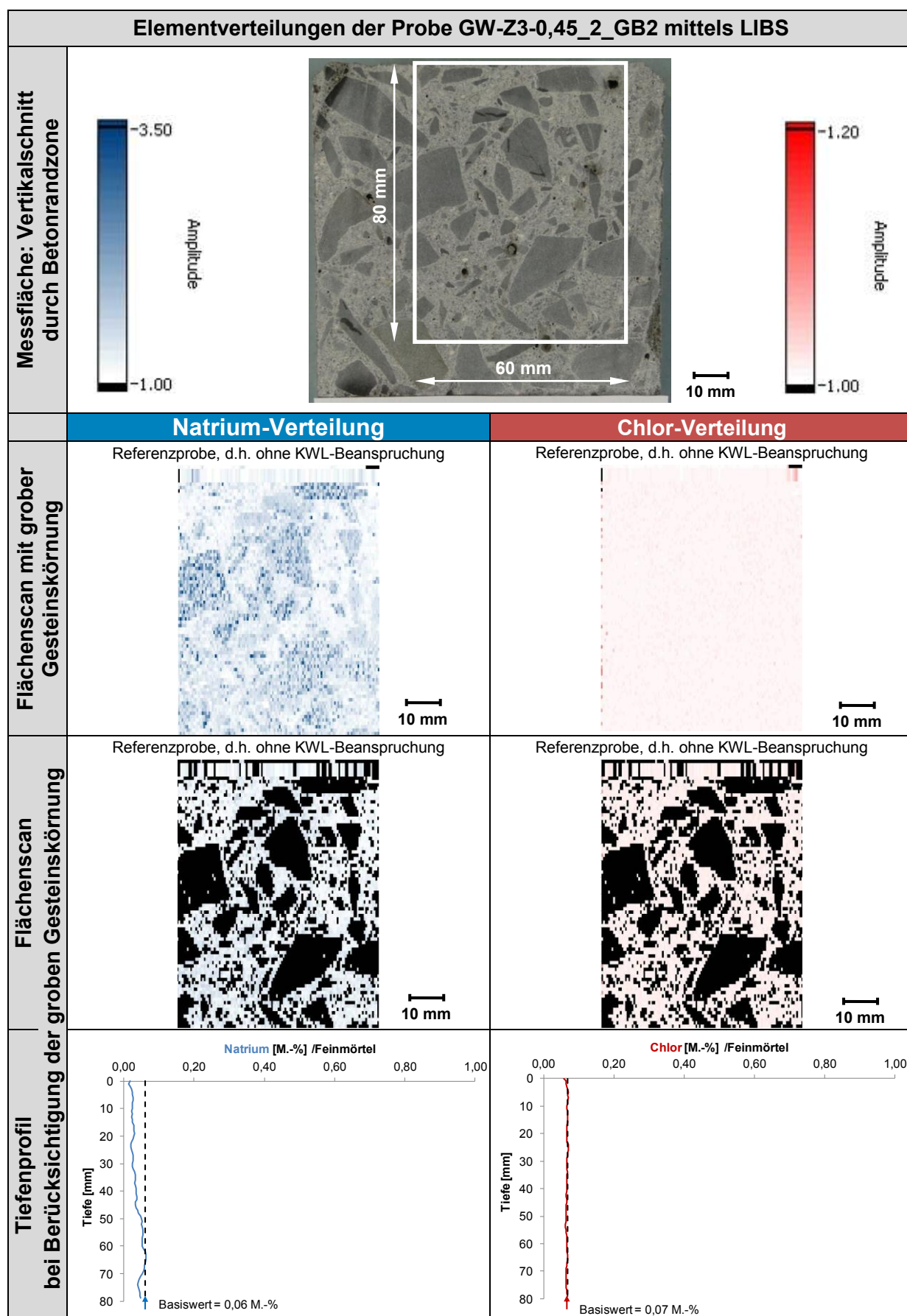


Abbildung A 166 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mittels LIBS

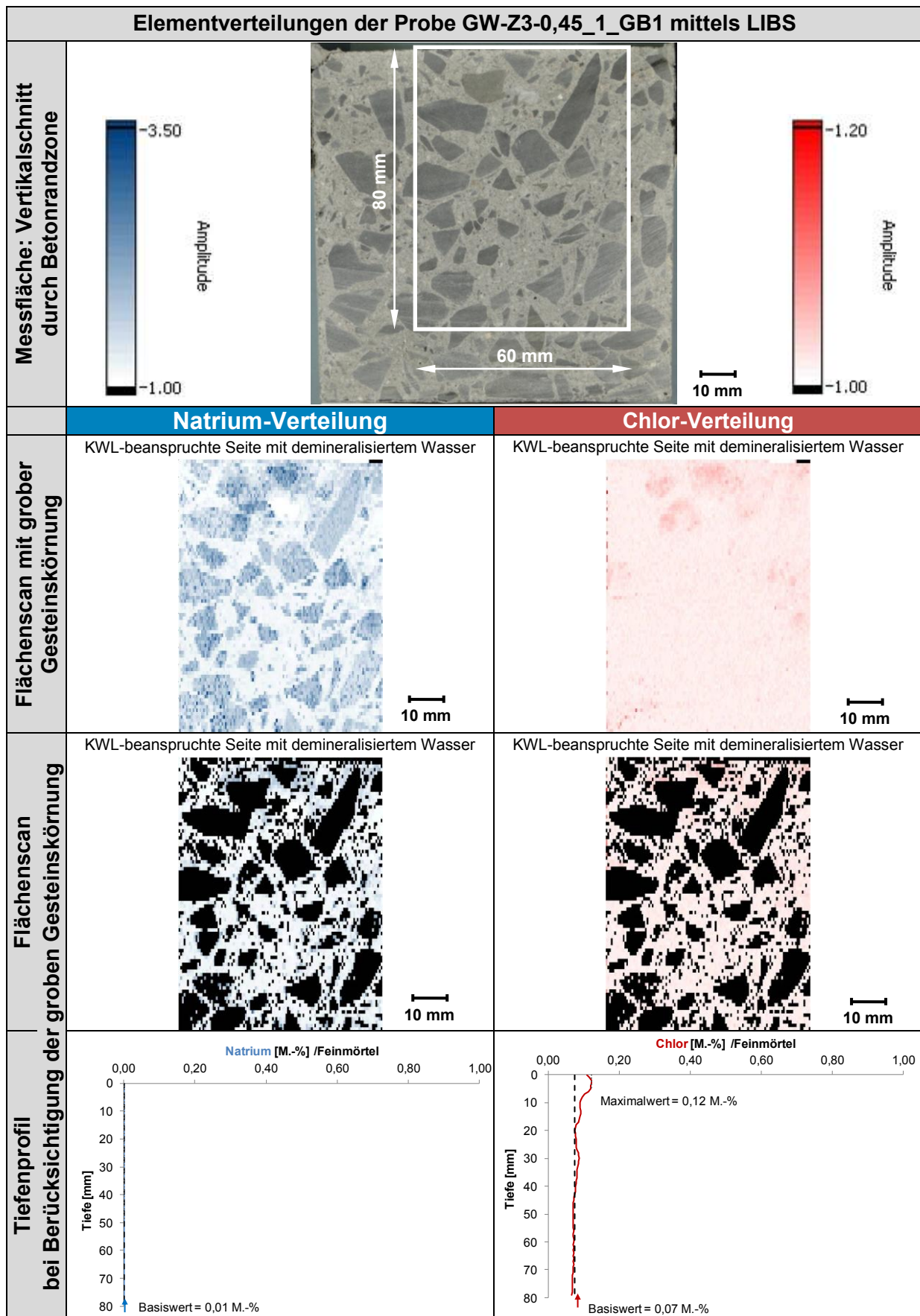


Abbildung A 167 Verteilung an Natrium u. Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit demineralisiertem Wasser mittels LIBS

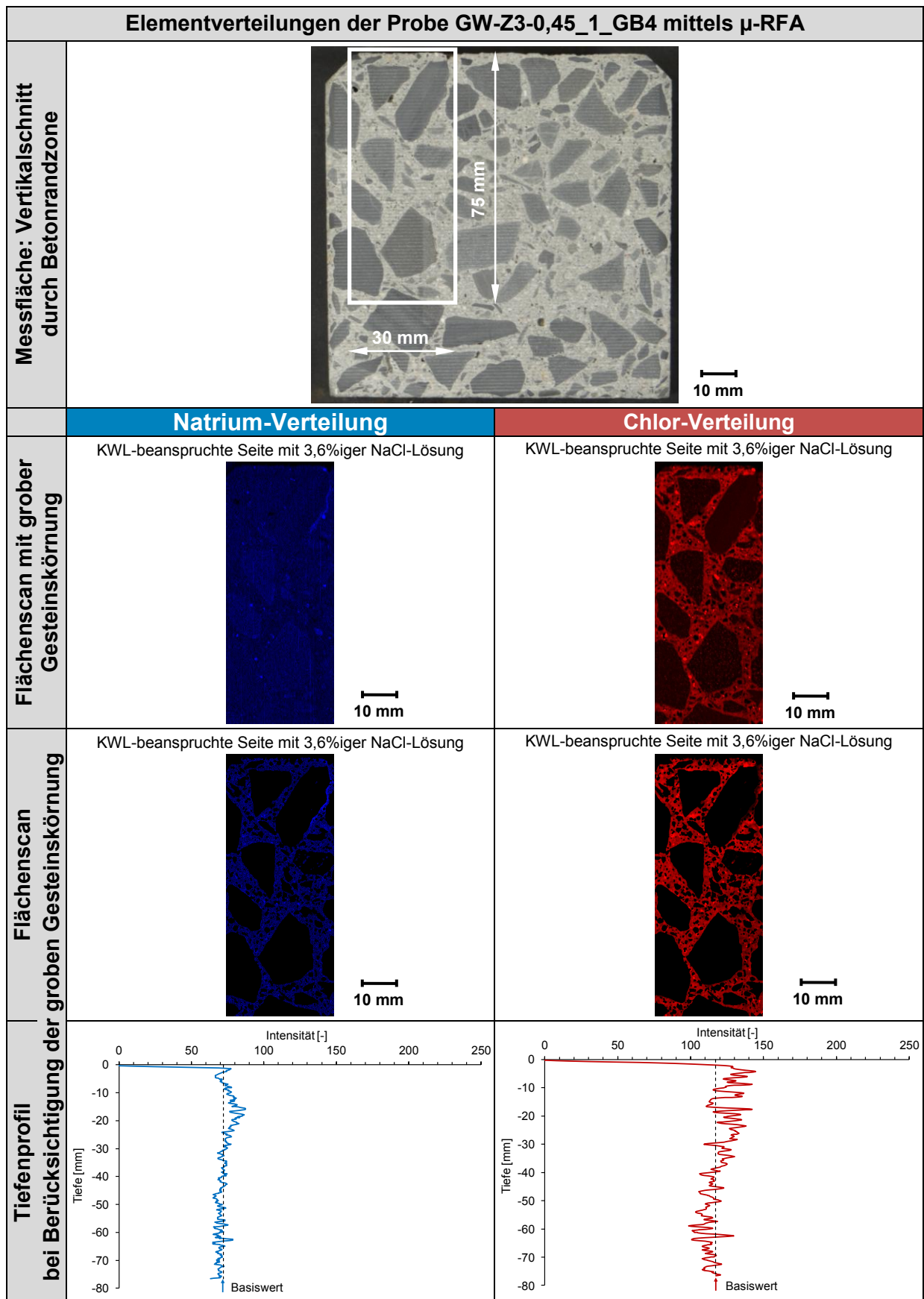


Abbildung A 168 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechsellaagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

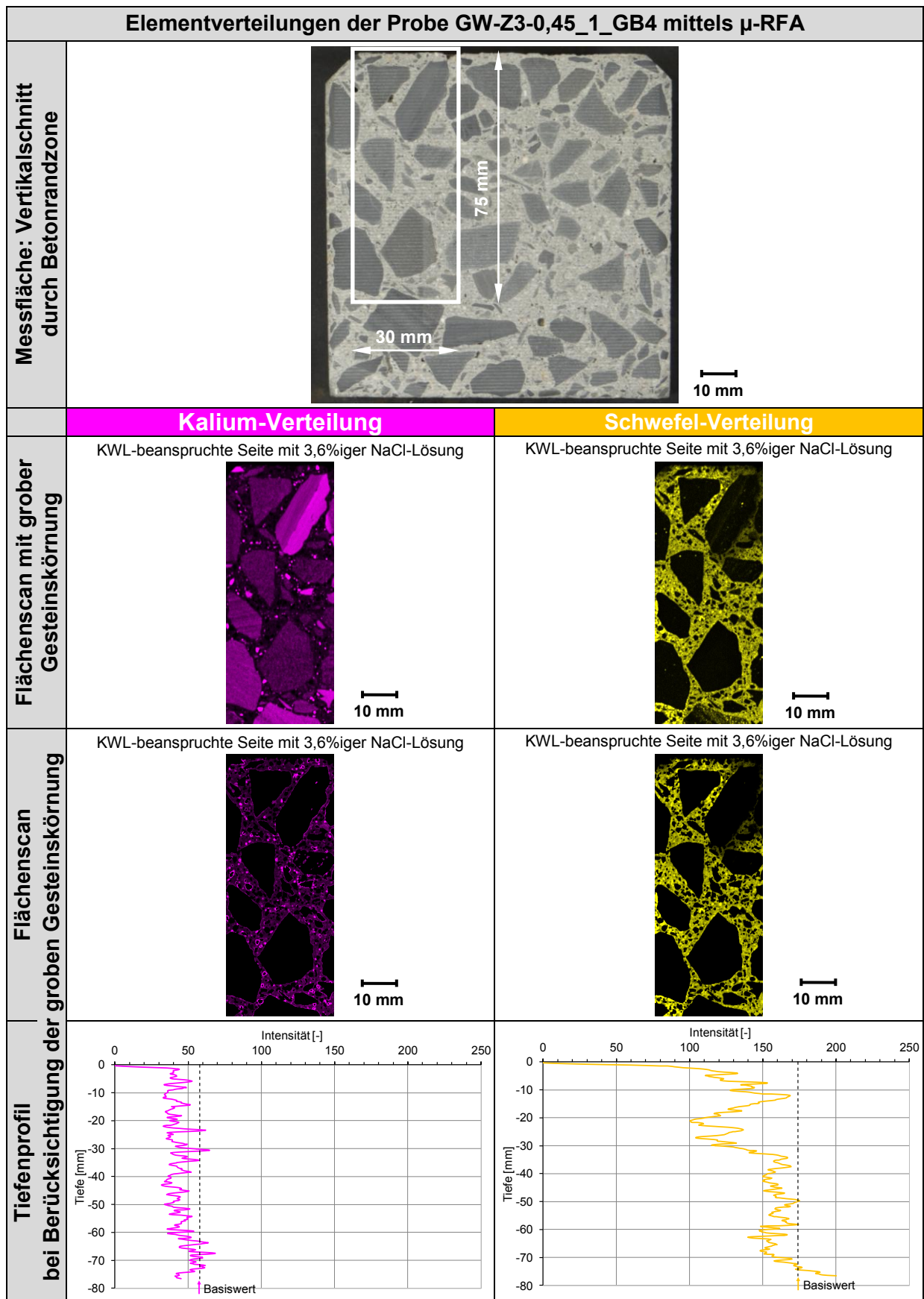


Abbildung A 169 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechsellagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

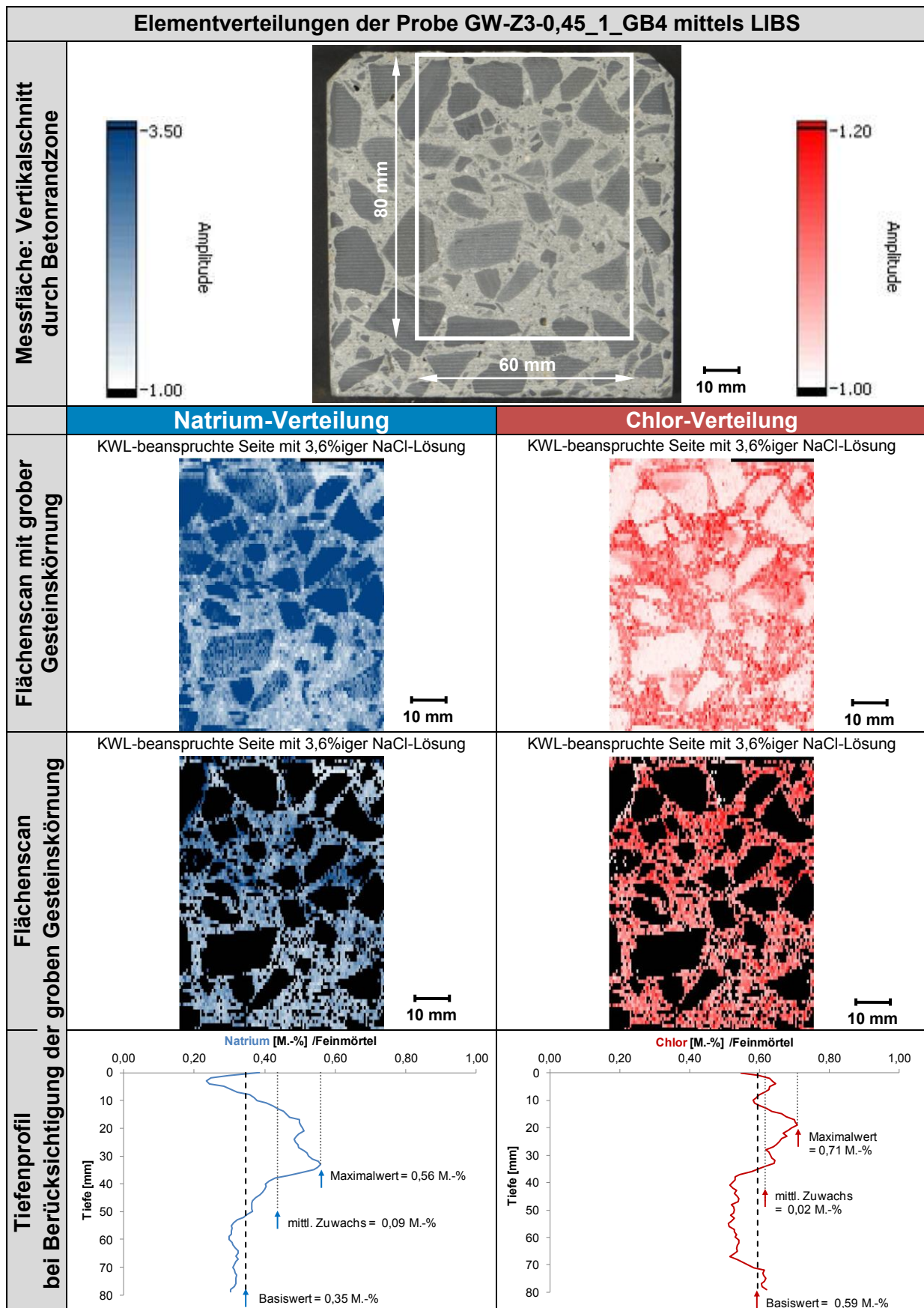


Abbildung A 170 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechsellagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

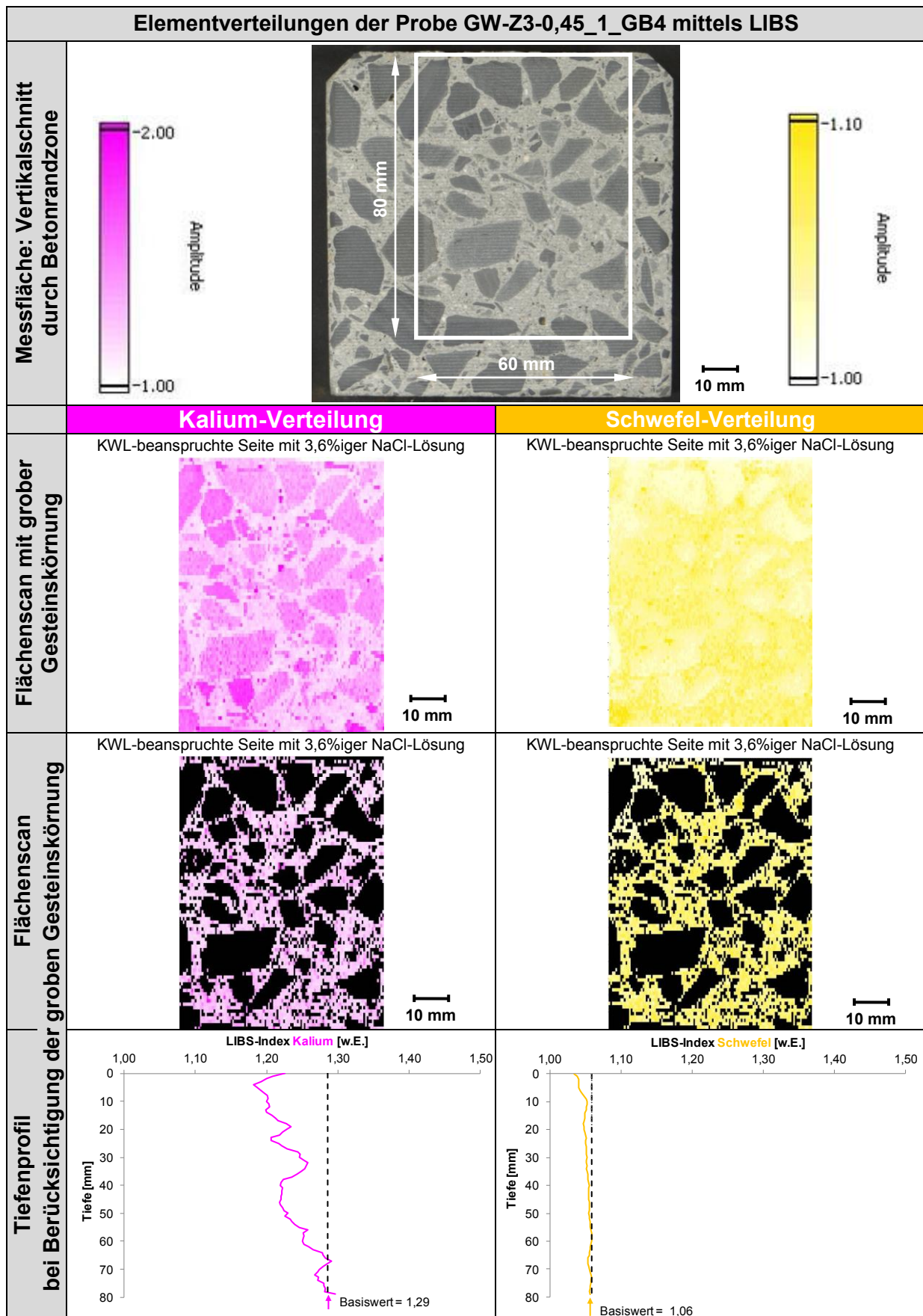


Abbildung A 171 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 40 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

➤ Mikroskopische Untersuchungen am Betonbalken

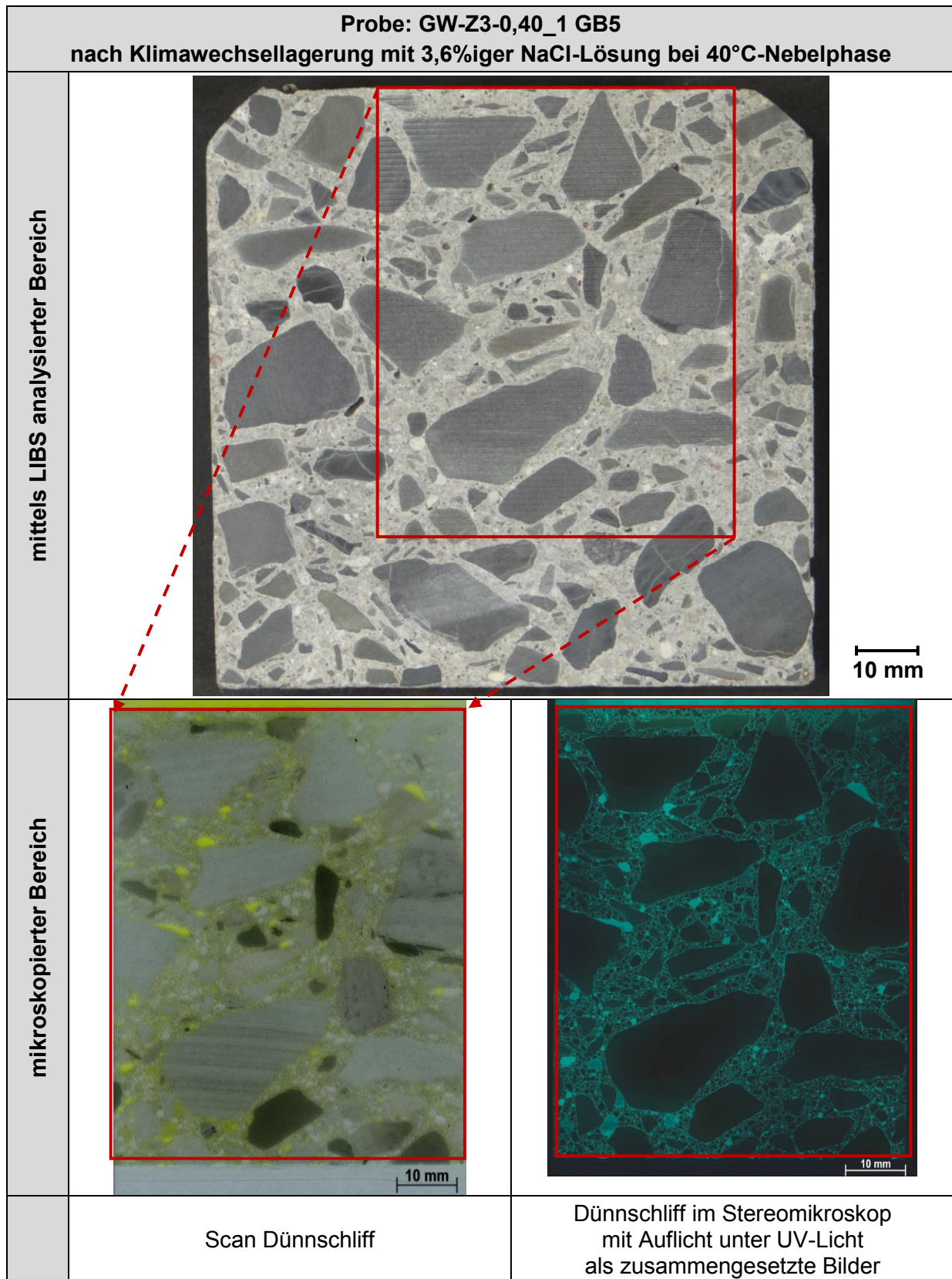


Abbildung A 172 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zedrain® bei einem w/z-Wert von 0,40 nach Klimawechsellagerung bei 40 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung

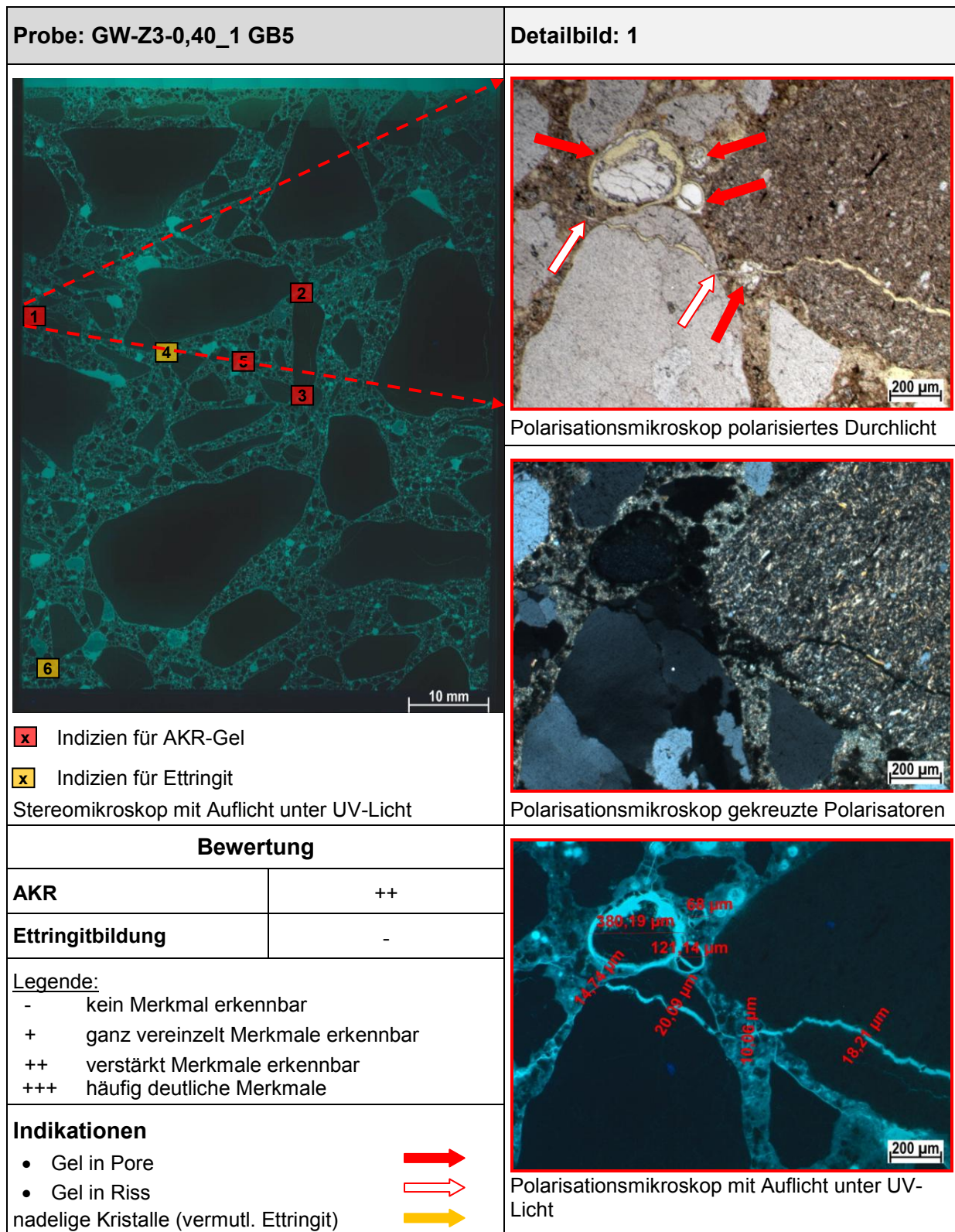


Abbildung A 173 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,40 nach Klimawechselagerung bei 40 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 1: AKR-Gel in Riss und mehrere Poren gelgefüllt

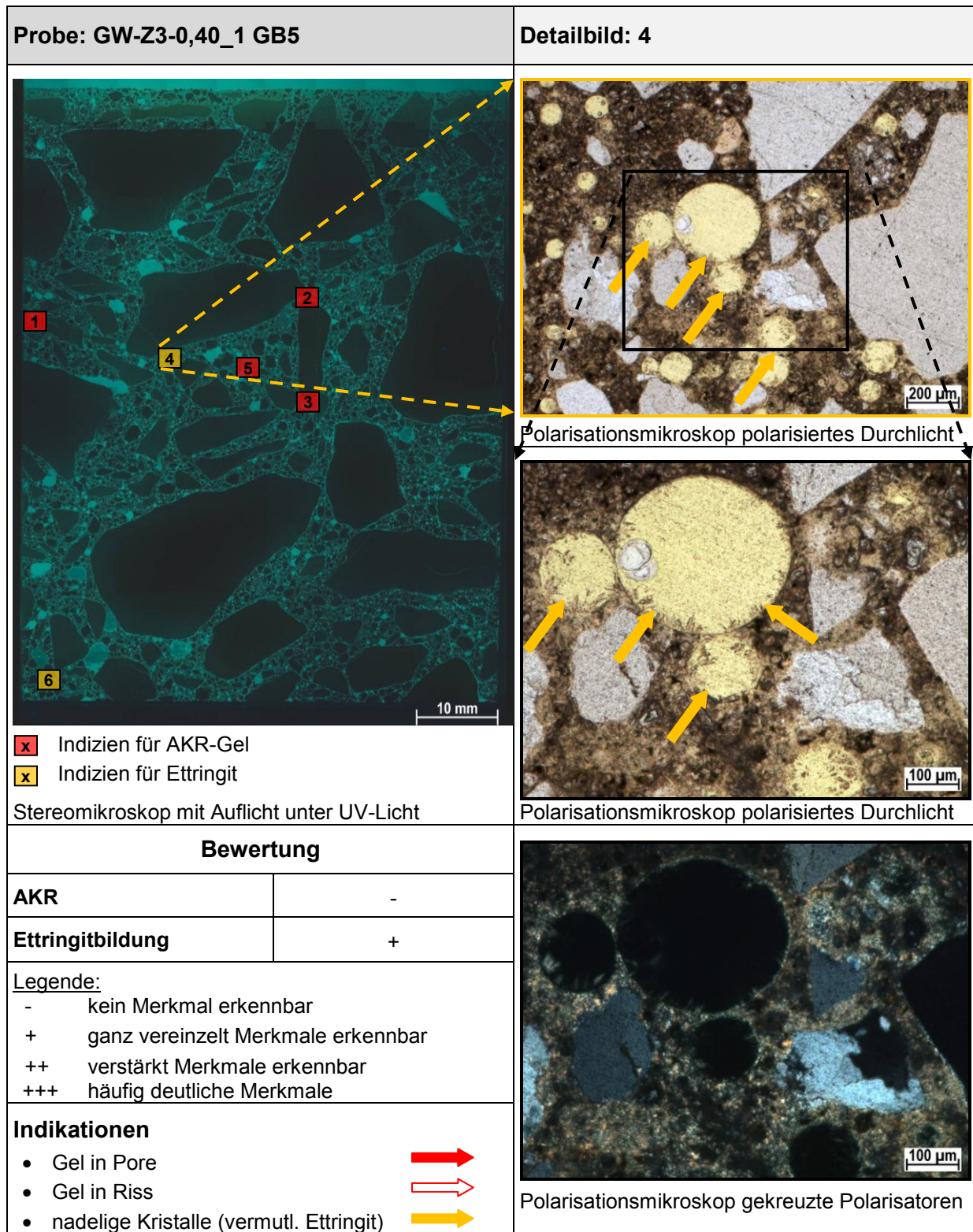


Abbildung A 174 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,40 nach Klimawechsellagerung bei 40 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 4: feine nadelige Kristalle (vermutlich Ettringit) in Poren

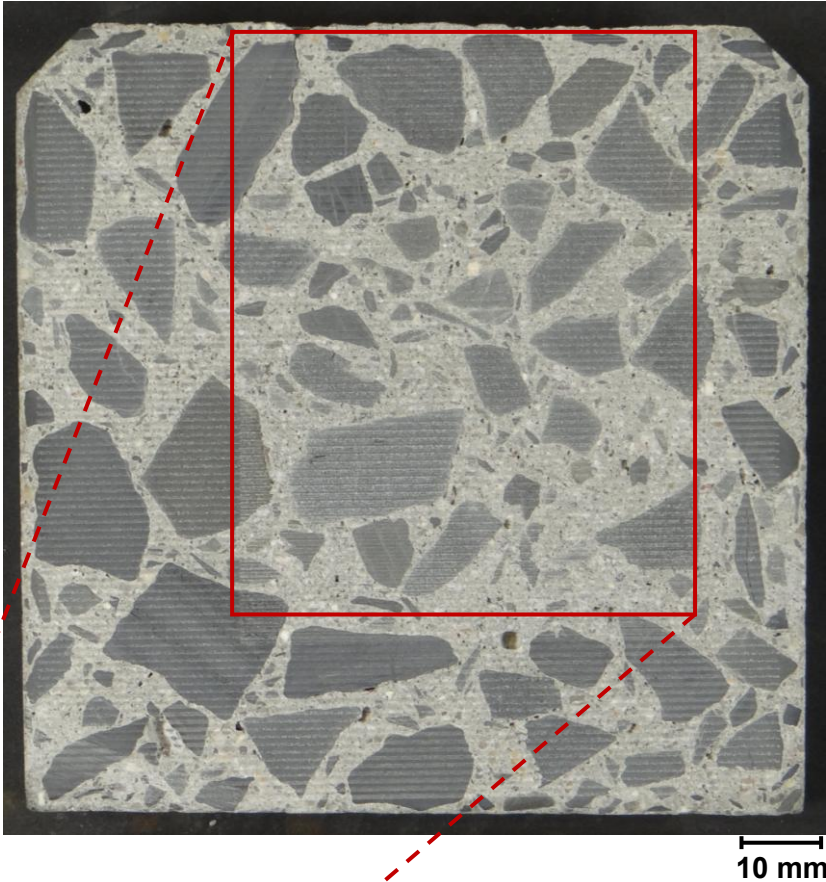
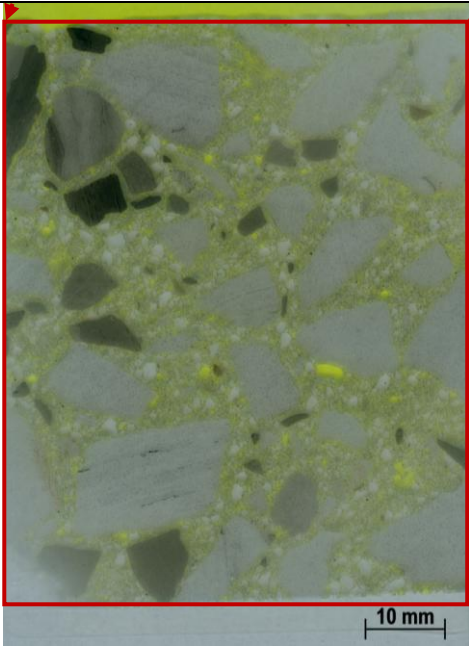
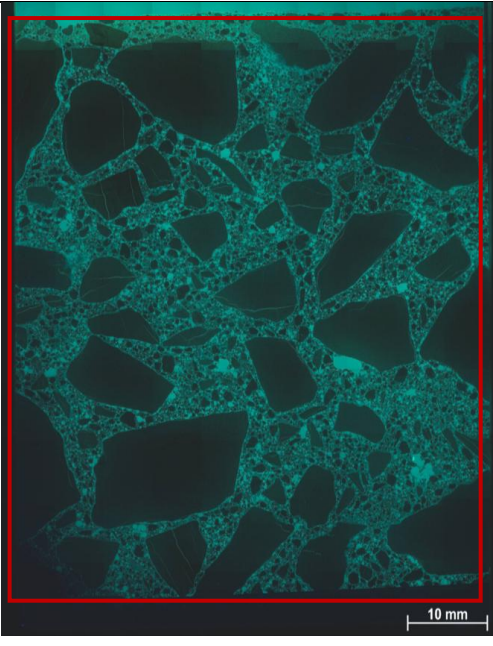
	Probe: GW-Z3-0,45_1 GB4 nach Klimawechsellagerung mit 3,6%iger NaCl-Lösung bei 40°C-Nebelphase	
mittels LIBS analysierter Bereich		
mikroskopierter Bereich		
	Scan Dünnschliff	Dünnschliff im Stereomikroskop mit Auflicht unter UV-Licht als zusammengesetzte Bilder

Abbildung A 175 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klimawechsellagerung bei 40 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung

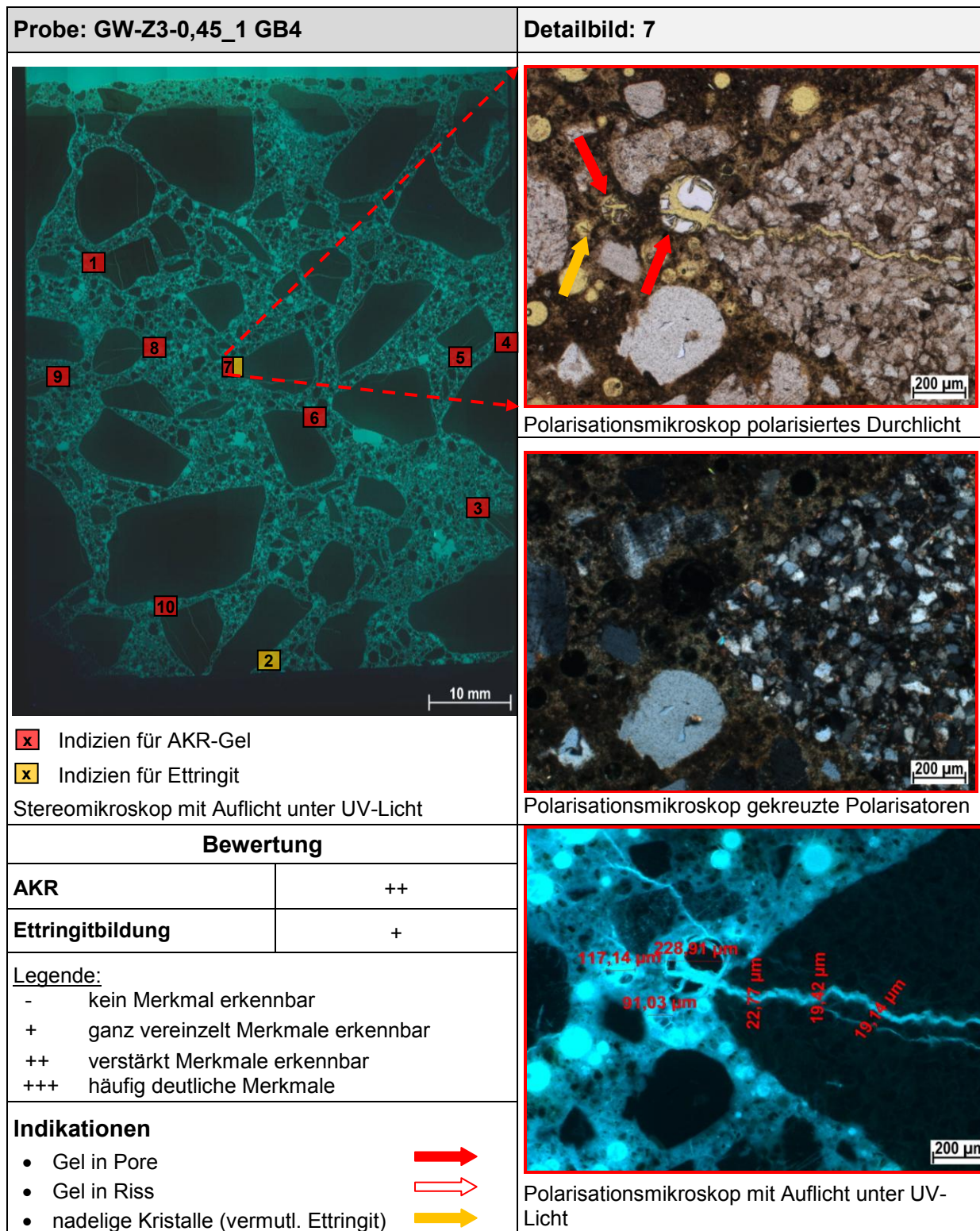


Abbildung A 176 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdren® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klimawechselagerung bei 40 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 7: AKR-Gel und vermutlich Ettringit in Poren

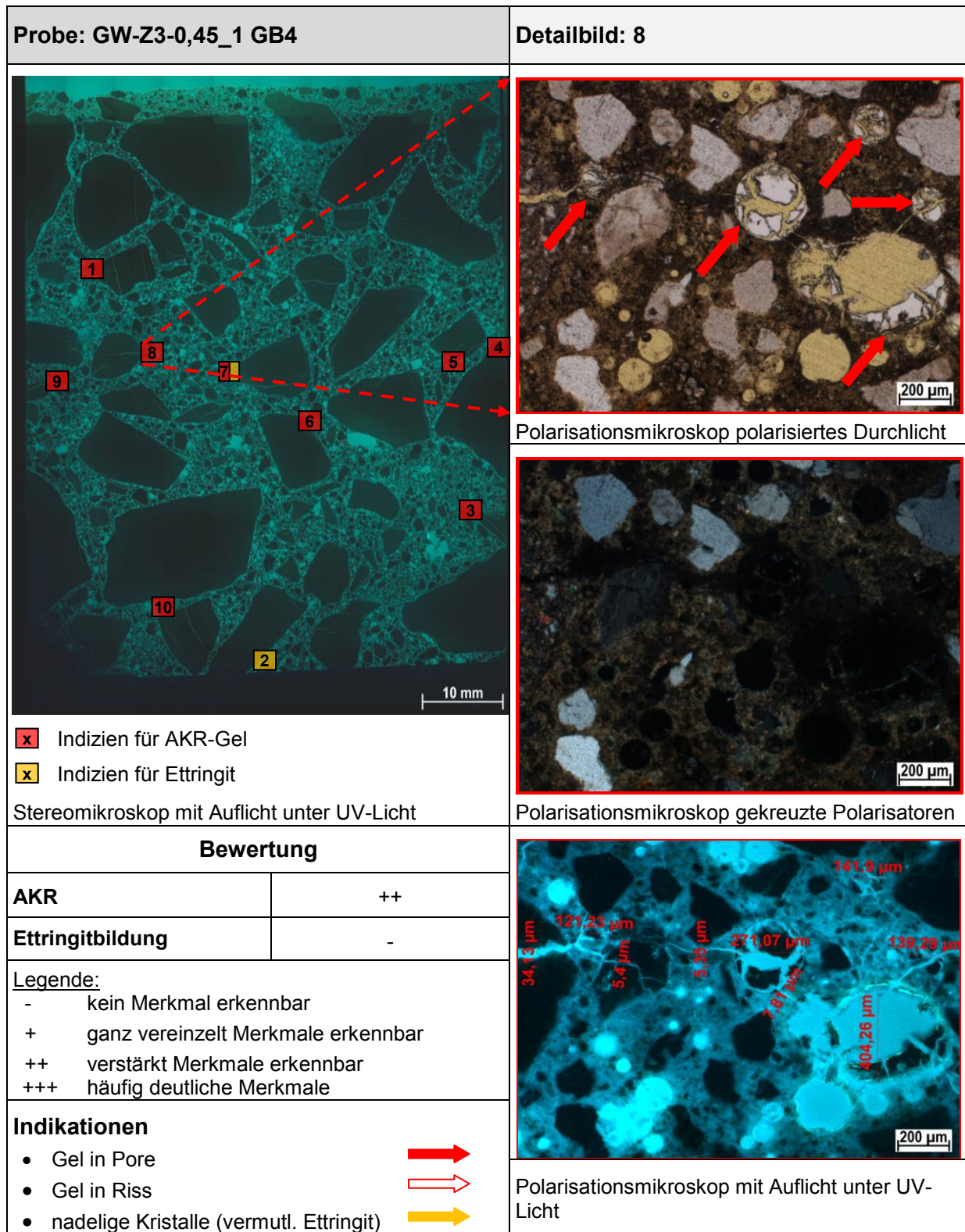


Abbildung A 177 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klimawechselagerung bei 40 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 8: AKR-Gel in Poren unterschiedlichen Durchmessers

10.2.3.2 Variation Temperatur der Nebelphase

➤ Masse und dynamischer E-Modul von Balken (100 x 100 x 400 [mm])

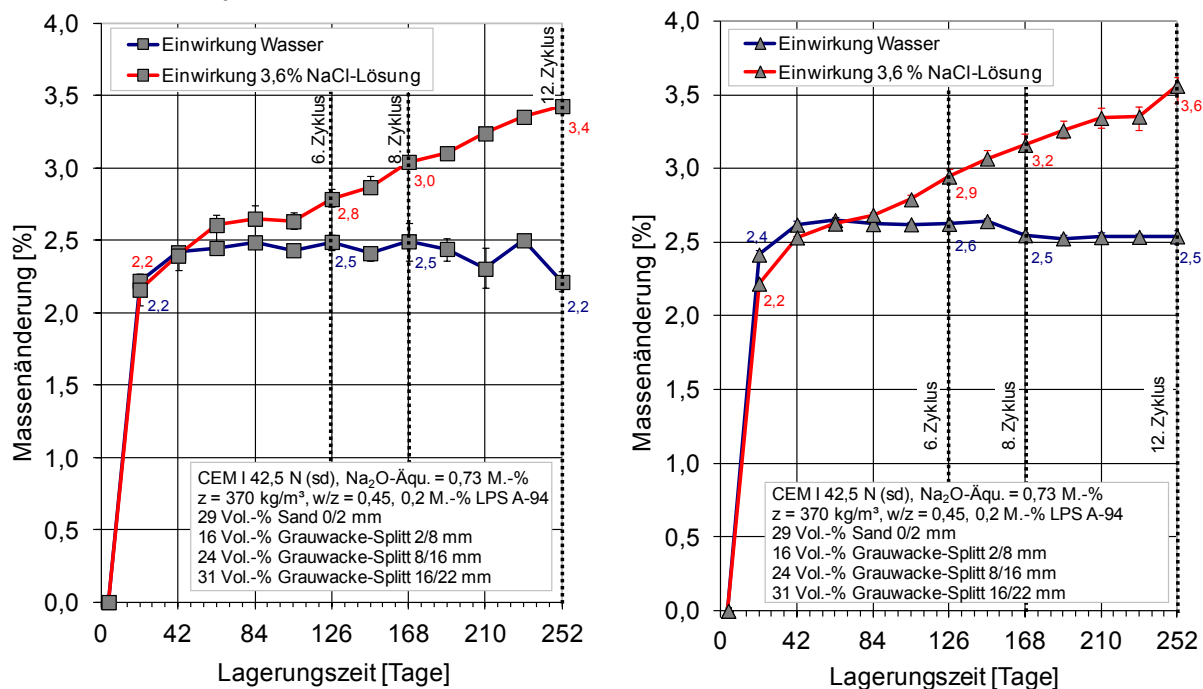


Abbildung A 178 Masse von Betonbalken 100 mm x 100 mm x 400 mm mit Grauwacke-Splitt bei w/z -Wert von 0,45 während FIB-Klimawechselagerung mit Nebelphase bei 40 °C (links) und 45 °C (rechts)

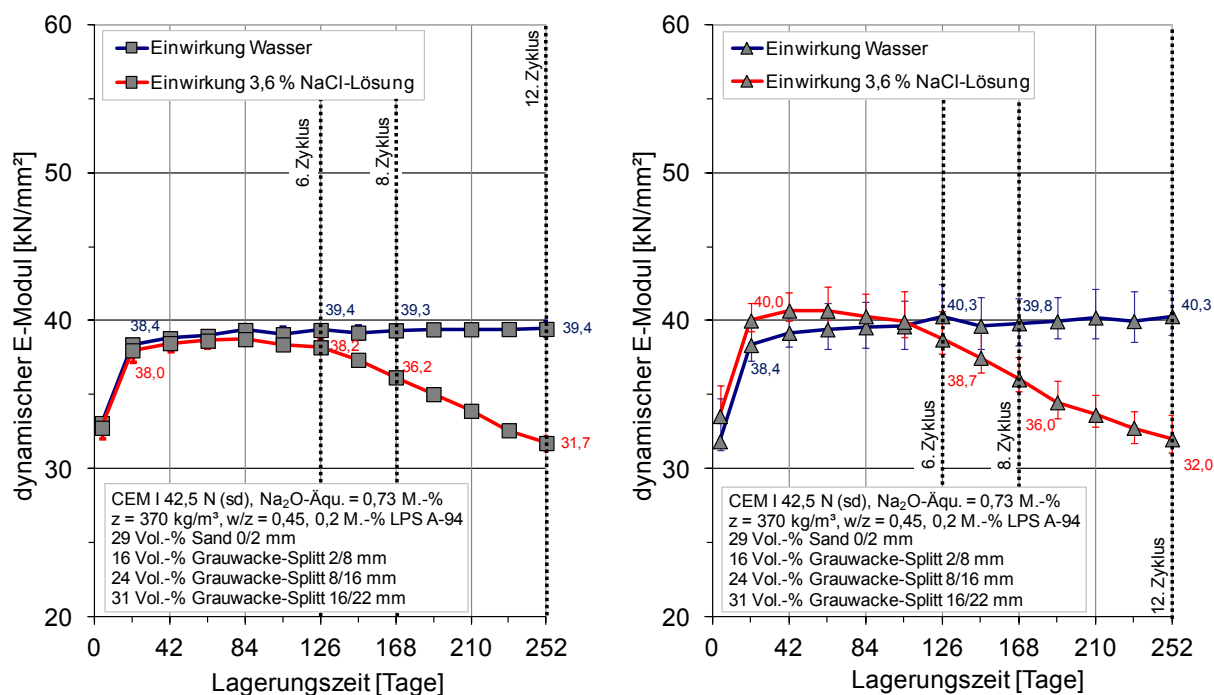


Abbildung A 179 Dynamischer E-Modul (errechnet aus Eigenschwingzeiten) von Betonbalken 100 x 100 mm x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z -Wert von 0,45 während FIB-Klimawechselagerung mit Nebelphase bei 40 °C (links) bzw. 45 °C (rechts)

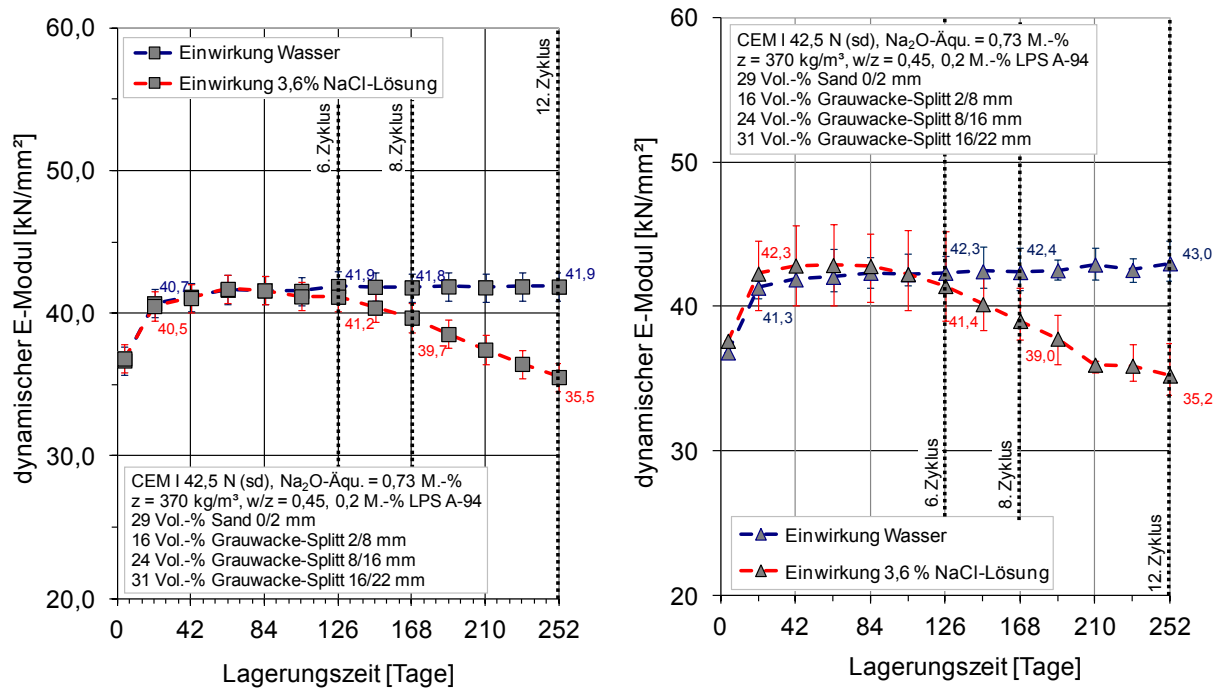


Abbildung A 180 Dynamischer E-Modul (errechnet aus Ultraschalllaufzeiten) von Betonbalken 100 x 100 mm x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 während FIB-Klimawechselagerung mit Nebelphase bei 40 °C (links) bzw. 45 °C (rechts)

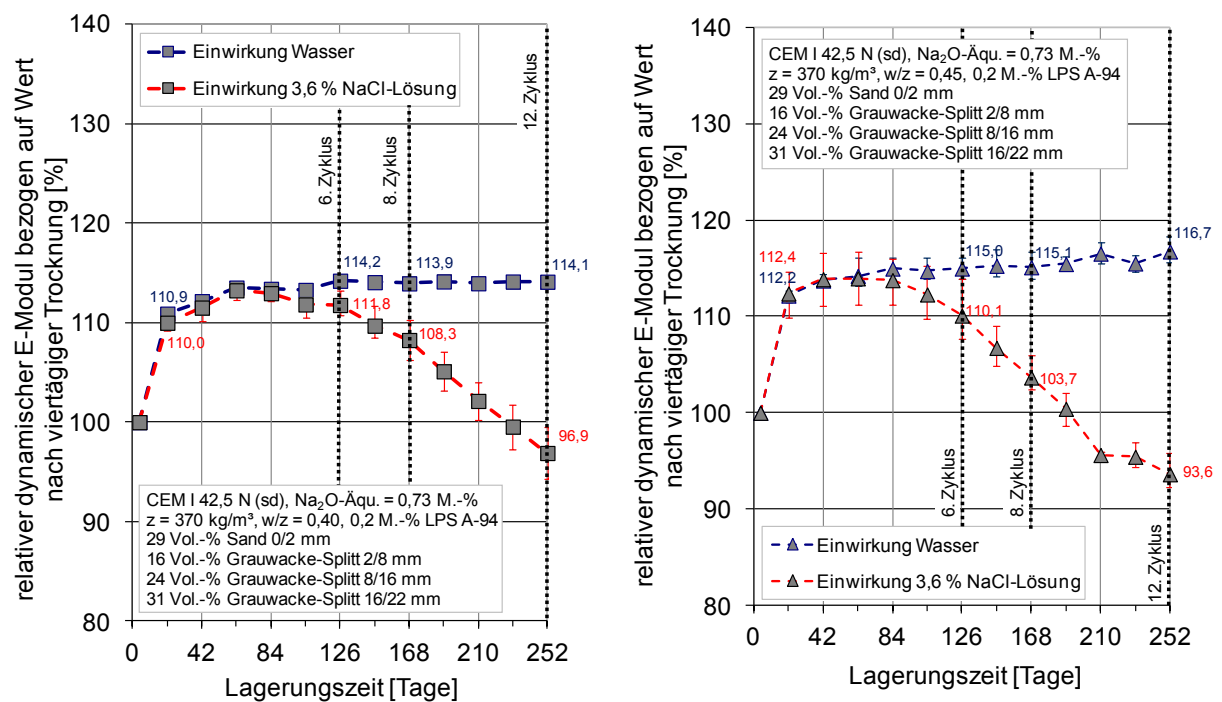


Abbildung A 181 Relativer dynamischer E-Modul (errechnet aus Ultraschalllaufzeiten) von Betonbalken 100 x 100 mm x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 während FIB-Klimawechselagerung mit Nebelphase bei 40 °C (links) bzw. 45 °C (rechts) bezogen auf Wert nach 4tägiger Trocknung

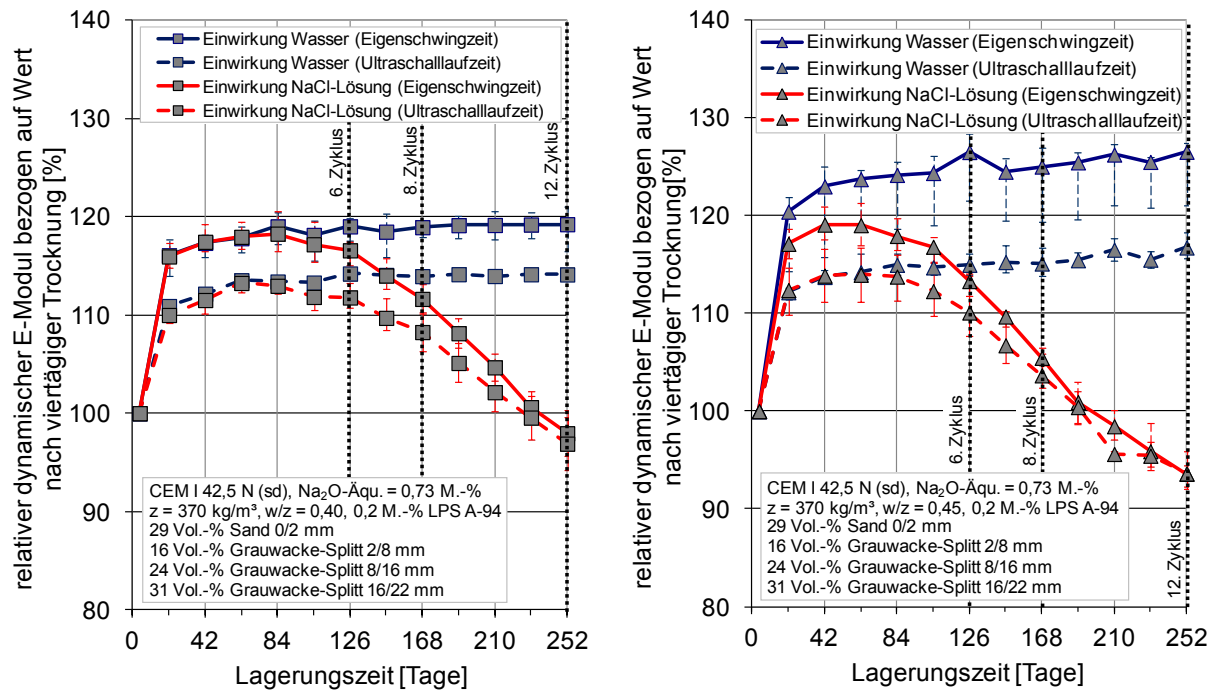


Abbildung A 182 Vergleich des relativen dynamischen Elastizitätsmoduls aus Eigenschwing- und Ultraschalllaufzeiten von Betonbalken 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 während FIB-Klimawechselagerung mit Nebelphase bei 40 °C (links) und 45 °C (rechts) bezogen auf Wert nach viertägiger Trocknung

➤ Elementverteilung von Alkalien, Schwefel und Chlor in Betonbalken

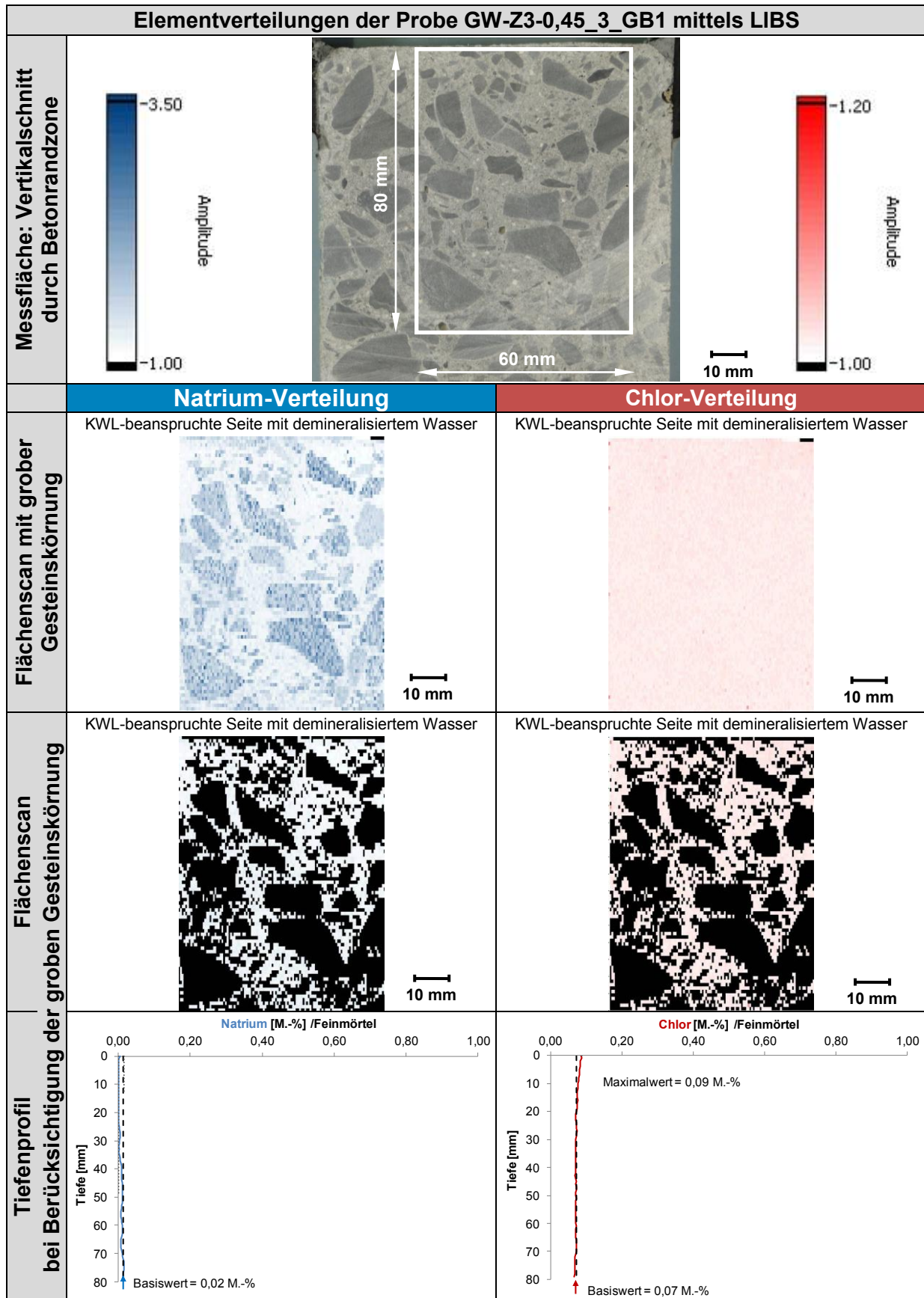


Abbildung A 183 Verteilung an Natrium u. Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit demineralisiertem Wasser mittels LIBS

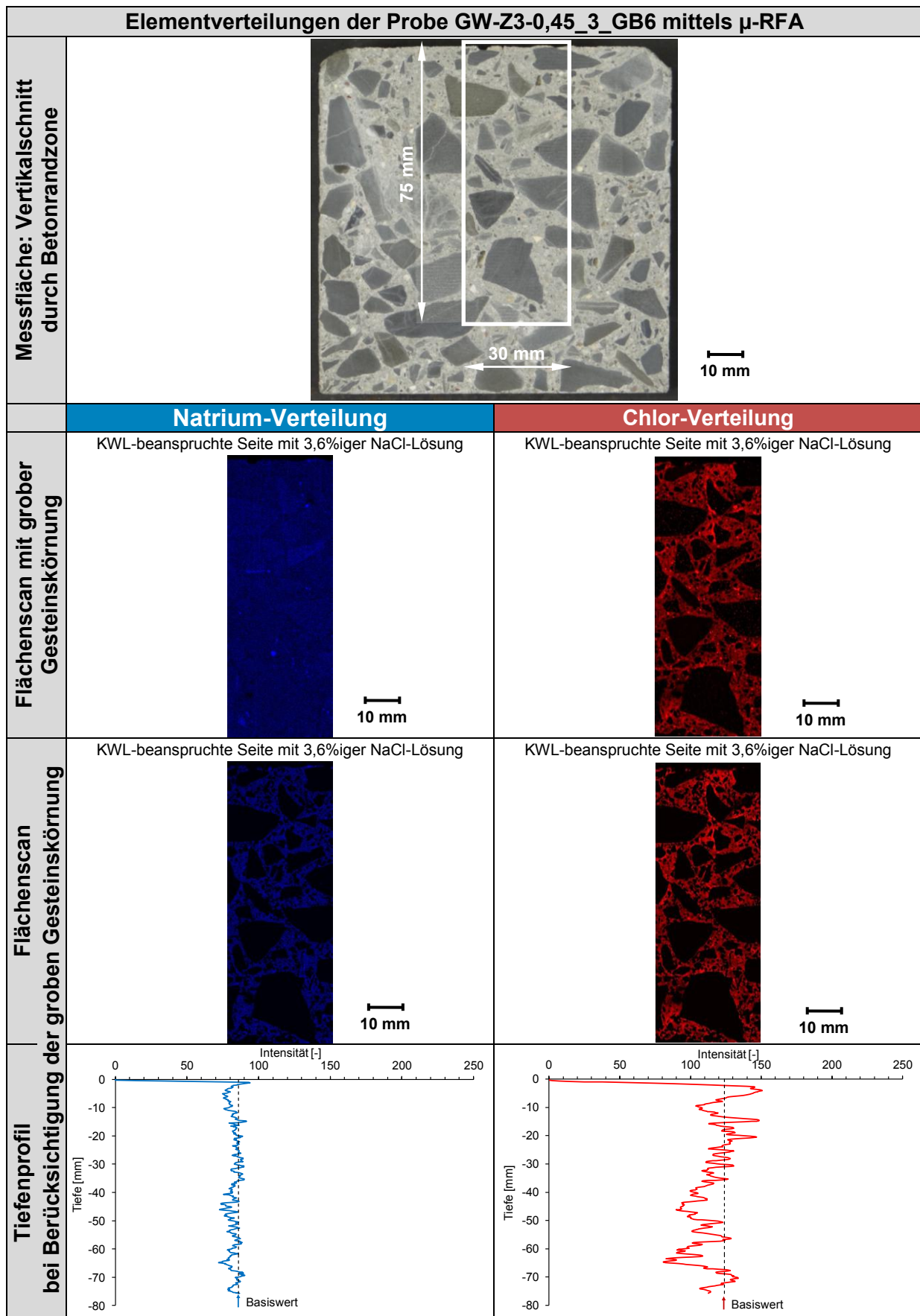


Abbildung A 184 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdriain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

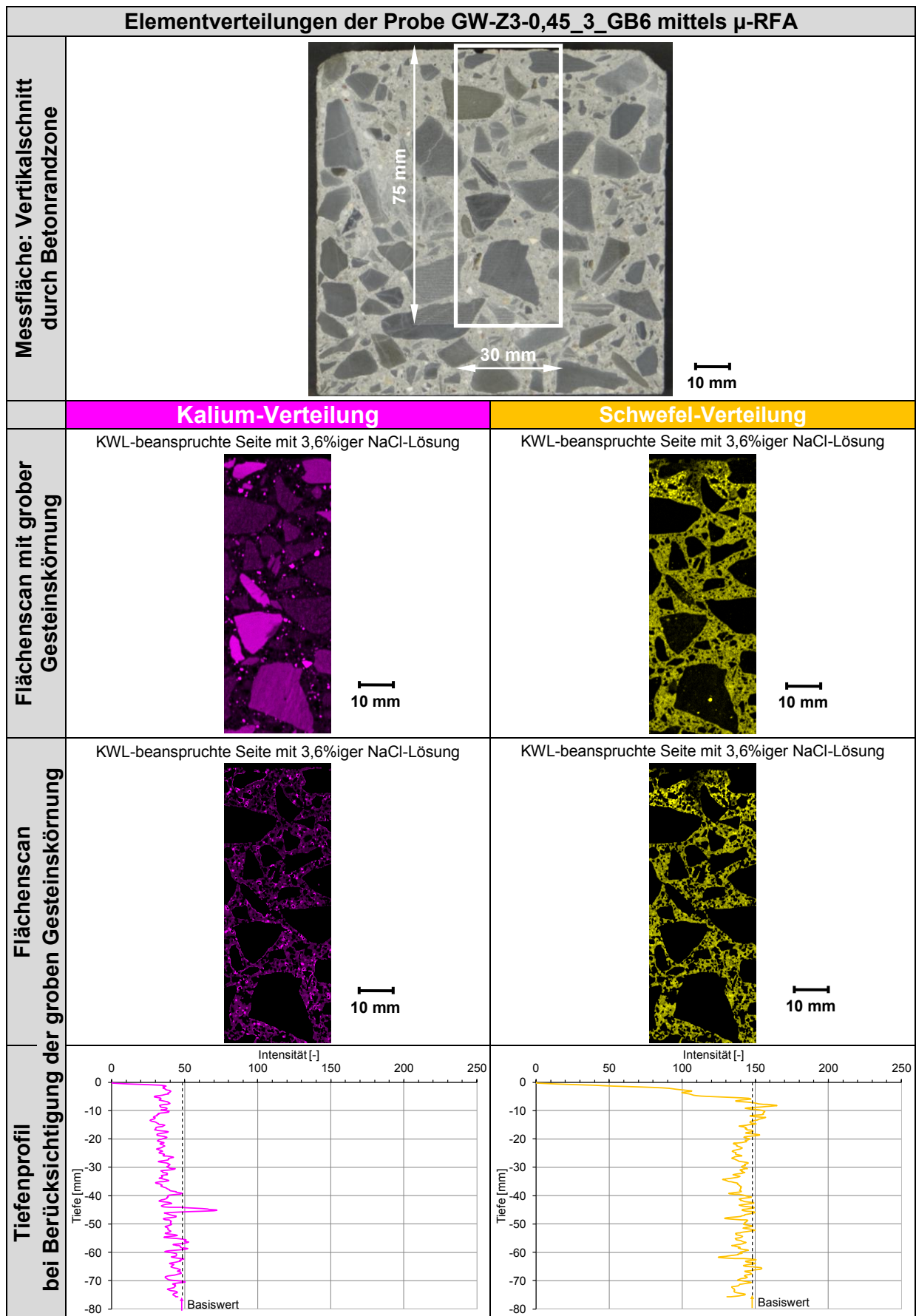


Abbildung A 185 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdriain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

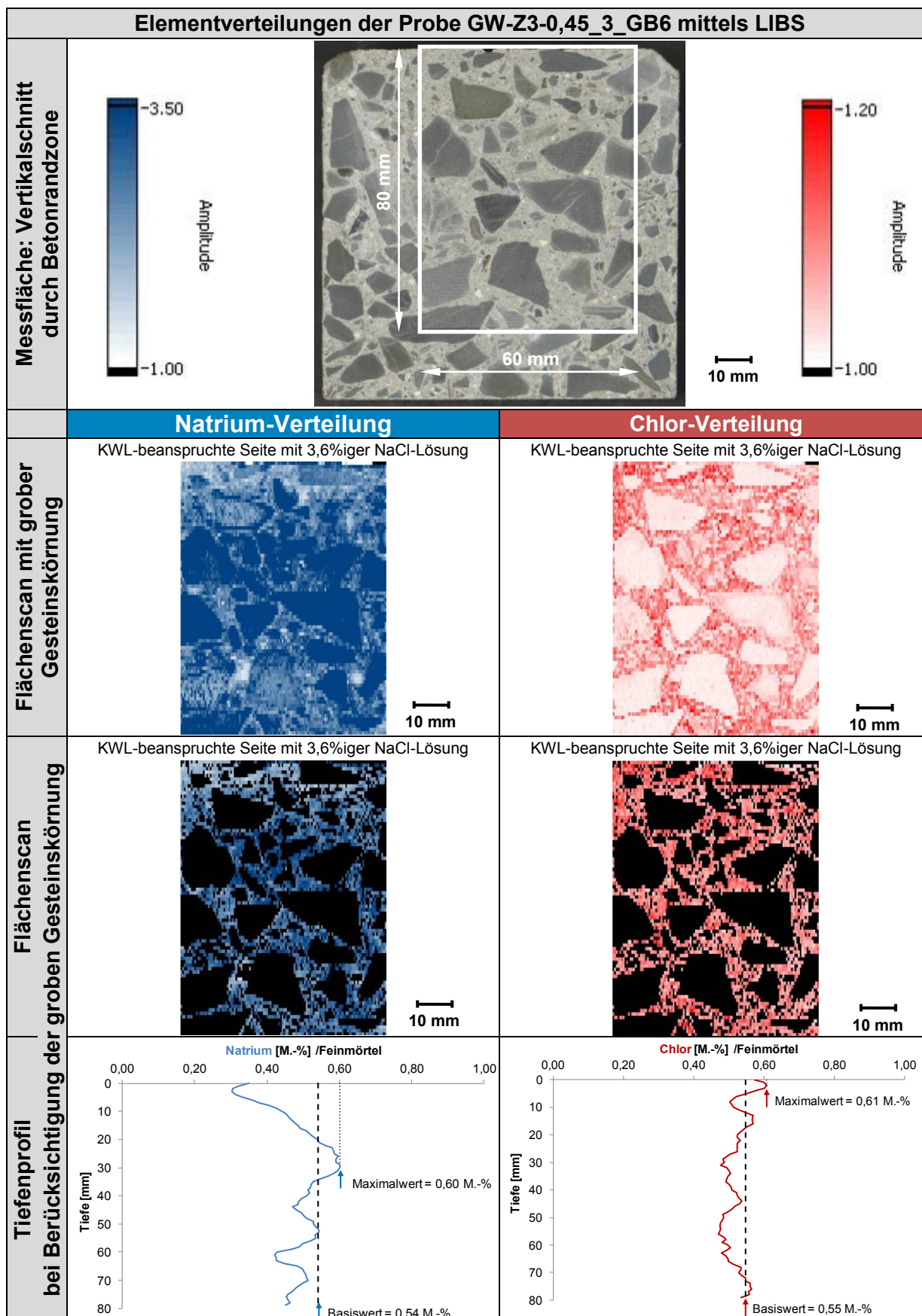


Abbildung A 186 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechsellagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

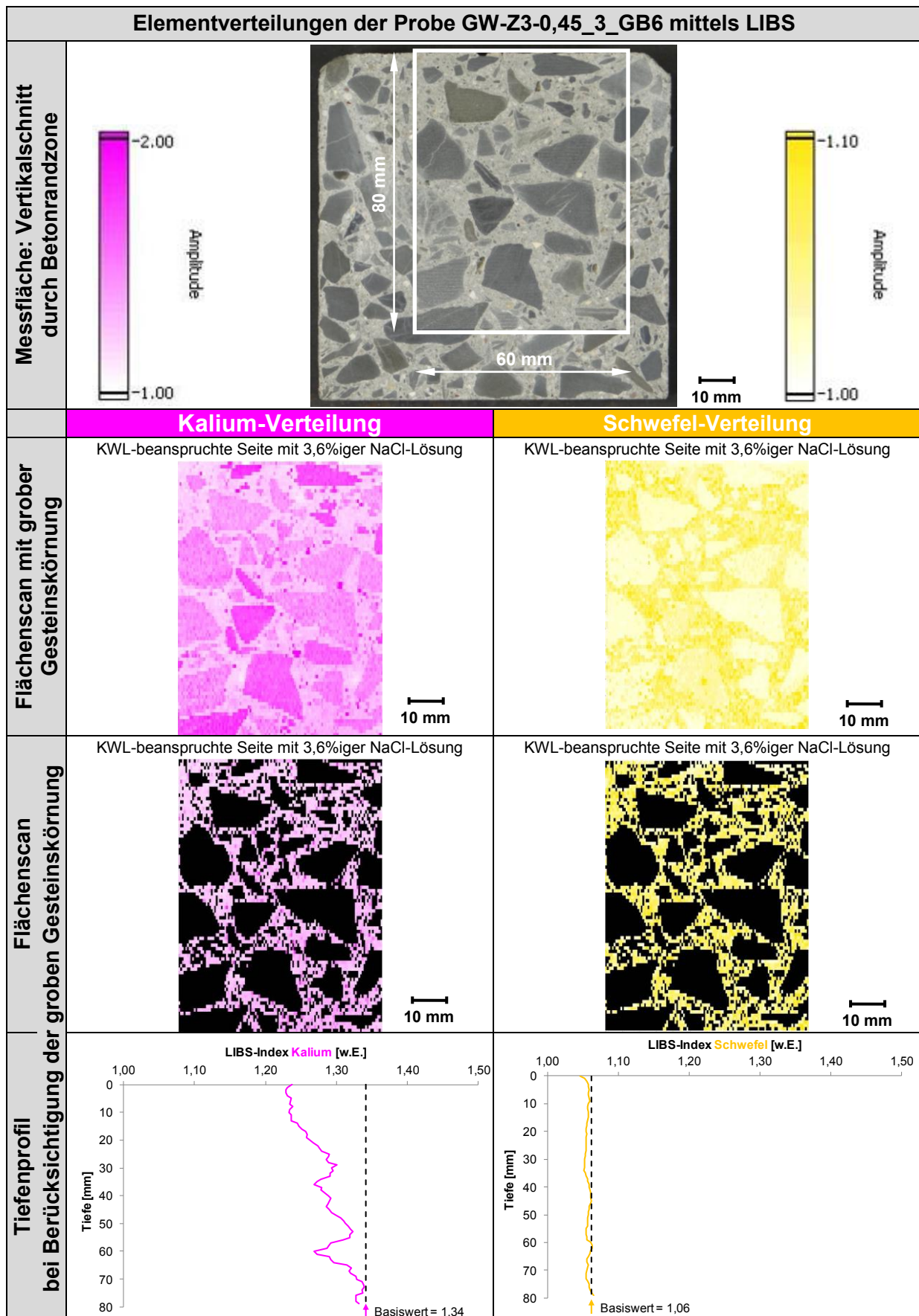


Abbildung A 187 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 mit Zemdren® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechsellagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

➤ Mikroskopische Untersuchungen am Betonbalken

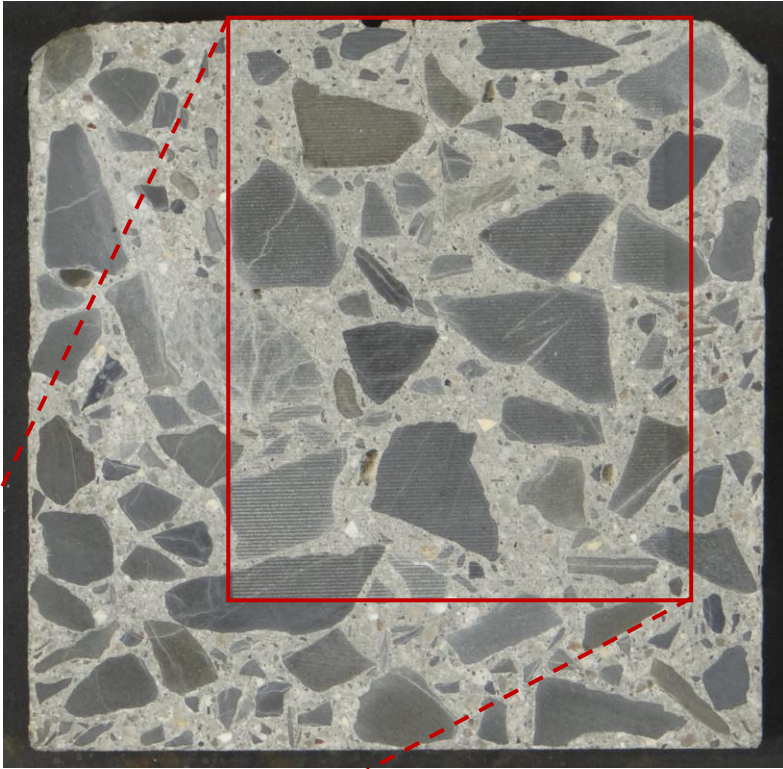
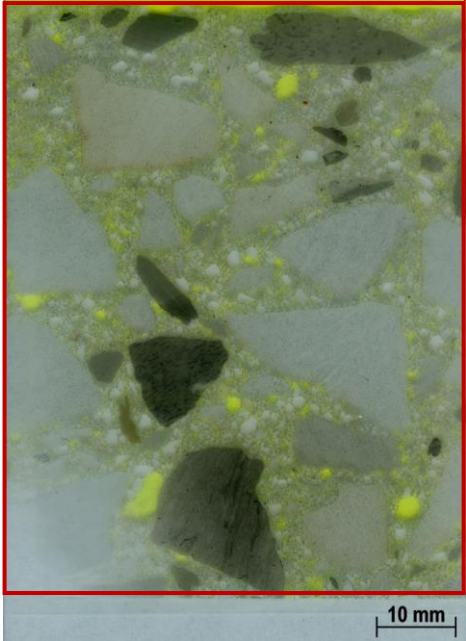
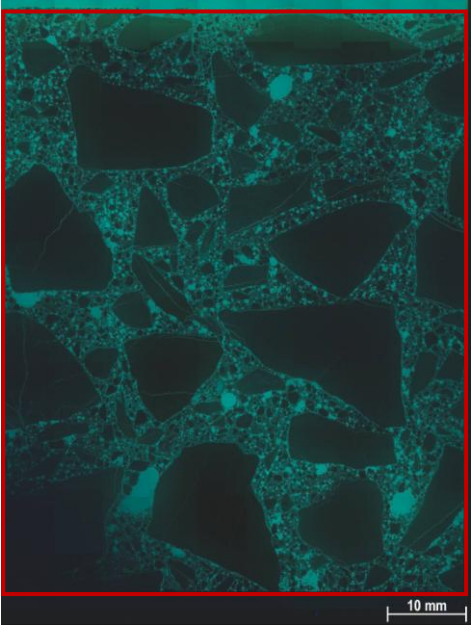
Probe: GW-Z3-0,45_3 GB6 nach Klimawechsellagerung mit 3,6%iger NaCl-Lösung bei 45°C-Nebelphase		
mittels LIBS analysierter Bereich		
mikroskopierter Bereich		
	Scan Dünnschliff	Dünnschliff im Stereomikroskop mit Auflicht unter UV-Licht als zusammengesetzte Bilder

Abbildung A 188 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdren® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klimawechsellagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung

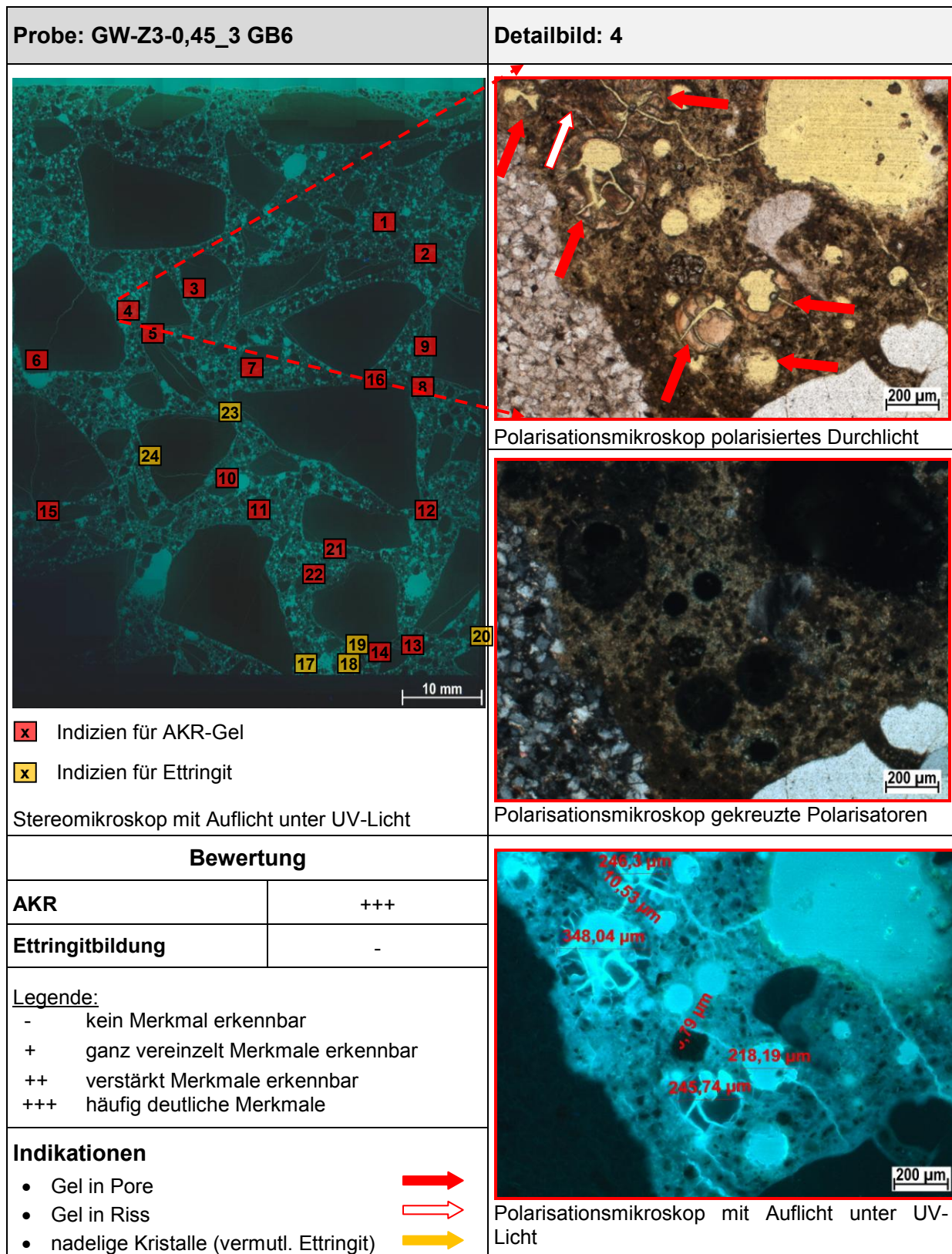


Abbildung A 189 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdren® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klima-wechsel Lagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 4: Poren und Riss mit rötlich braunem Gel gefüllt

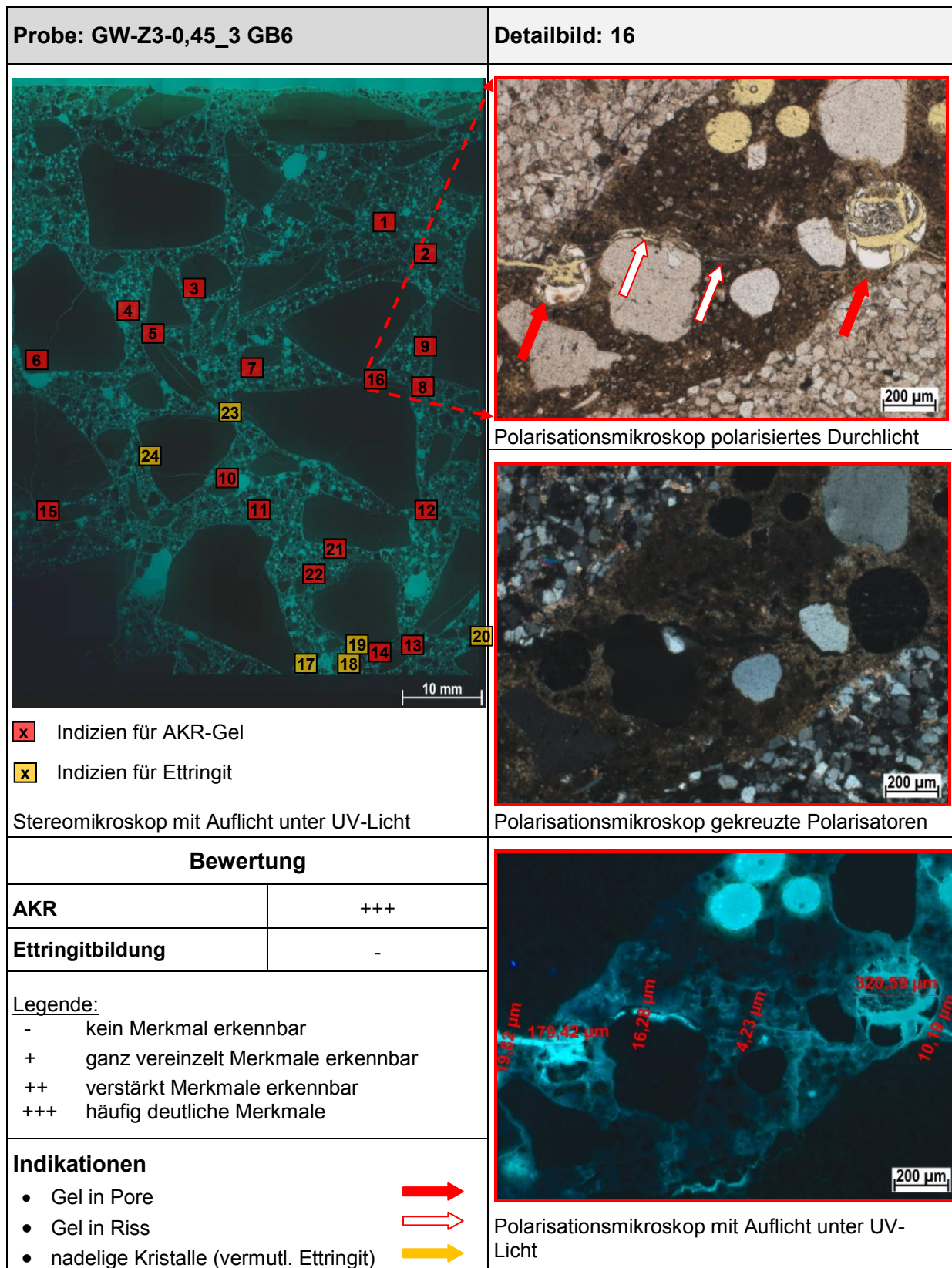


Abbildung A 190 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdren® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klima-wechsel Lagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 16: Poren und Riss mit weißem AKR-Gel gefüllt

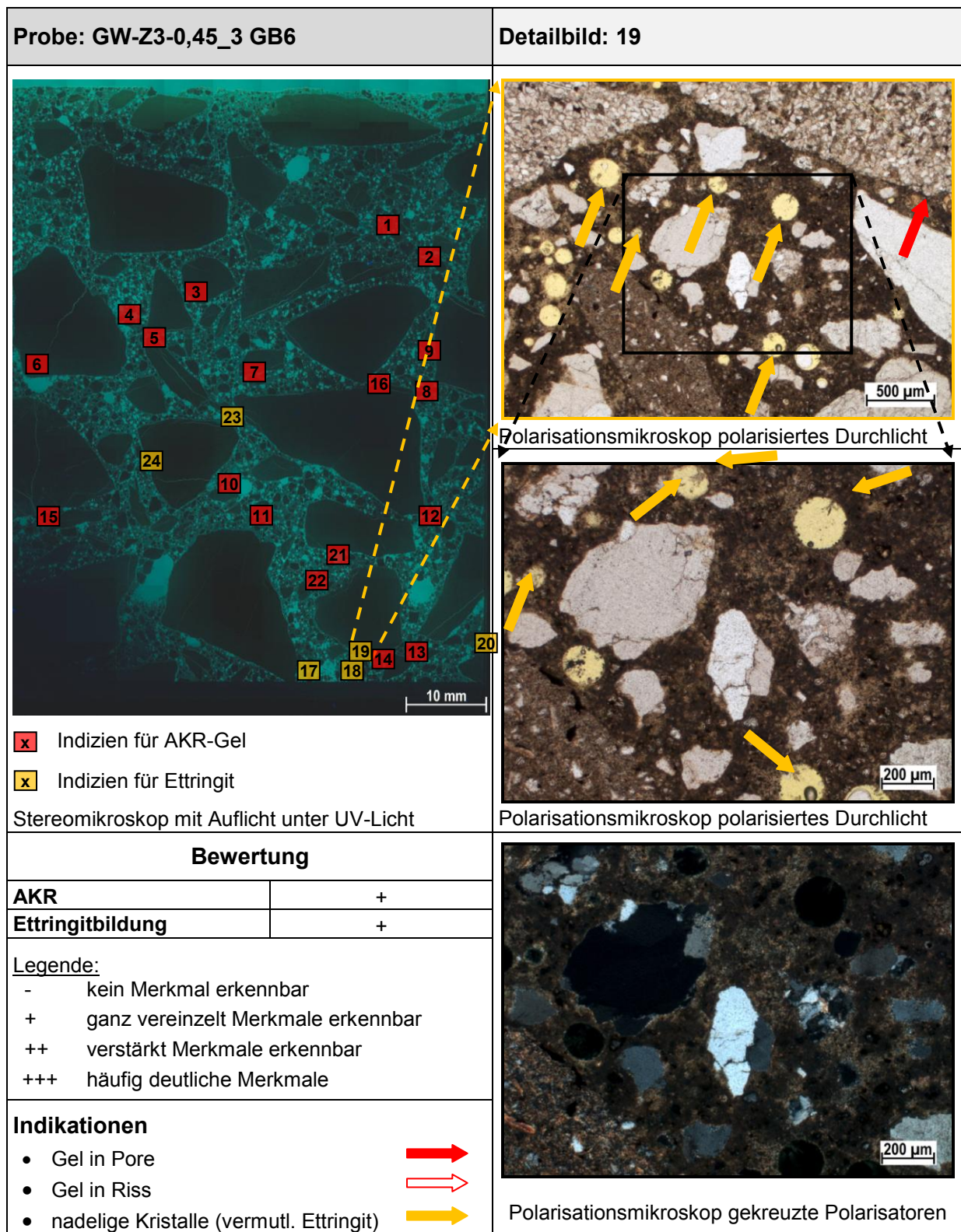


Abbildung A 191 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdren® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klima-wechsel Lagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 19: vereinzelt feine nadelige Kristalle (Ettringit)

10.2.3.3 Variation Oberflächenbehandlung

► Masse und dynamischer E-Modul von Balken (100 x 100 x 400 [mm])

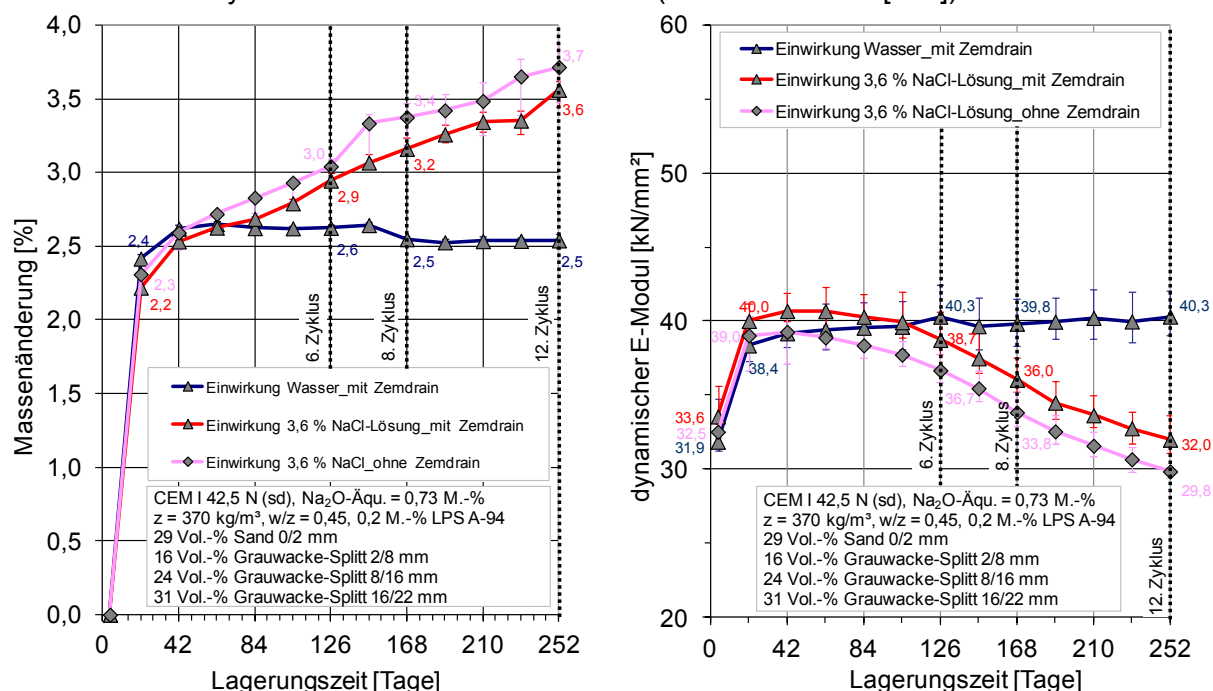


Abbildung A 192 Masse (links) und aus Eigenschwingzeiten errechneter dynamischer E-Modul (rechts) von Betonbalken 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt, mit/ohne Oberflächenbehandlung mittels Zemdrain® bei w/z-Wert von 0,45 während FIB-Klimawechsellagerung mit Nebelphase bei 45 °C

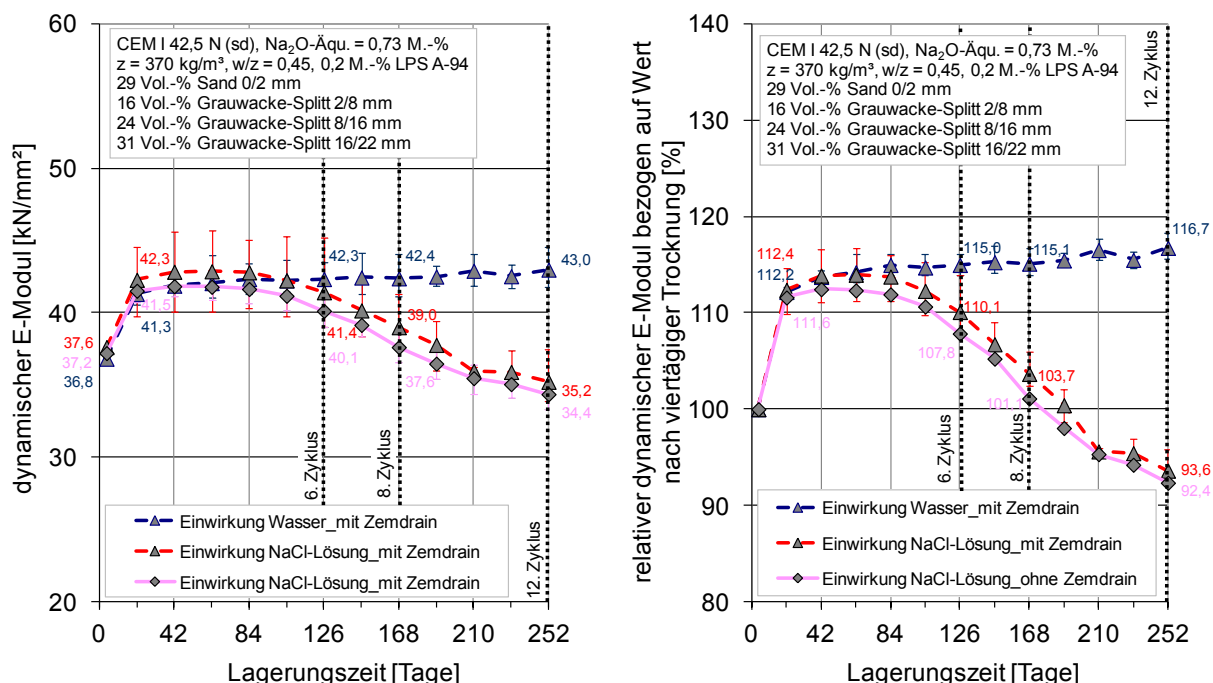


Abbildung A 193 aus Ultraschalllaufzeiten errechneter, dynamischer Elastizitätsmodul (links) und auf Wert nach viertägiger Trocknung bezogener relativer dynamischer Elastizitätsmodul (rechts) von Betonbalken 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt, mit/ohne Oberflächenbehandlung mittels Zemdrain® bei w/z-Wert von 0,45 während FIB-Klimawechsellagerung mit Nebelphase bei 45 °C

➤ Elementverteilung von Alkalien, Schwefel und Chlor in Betonbalken

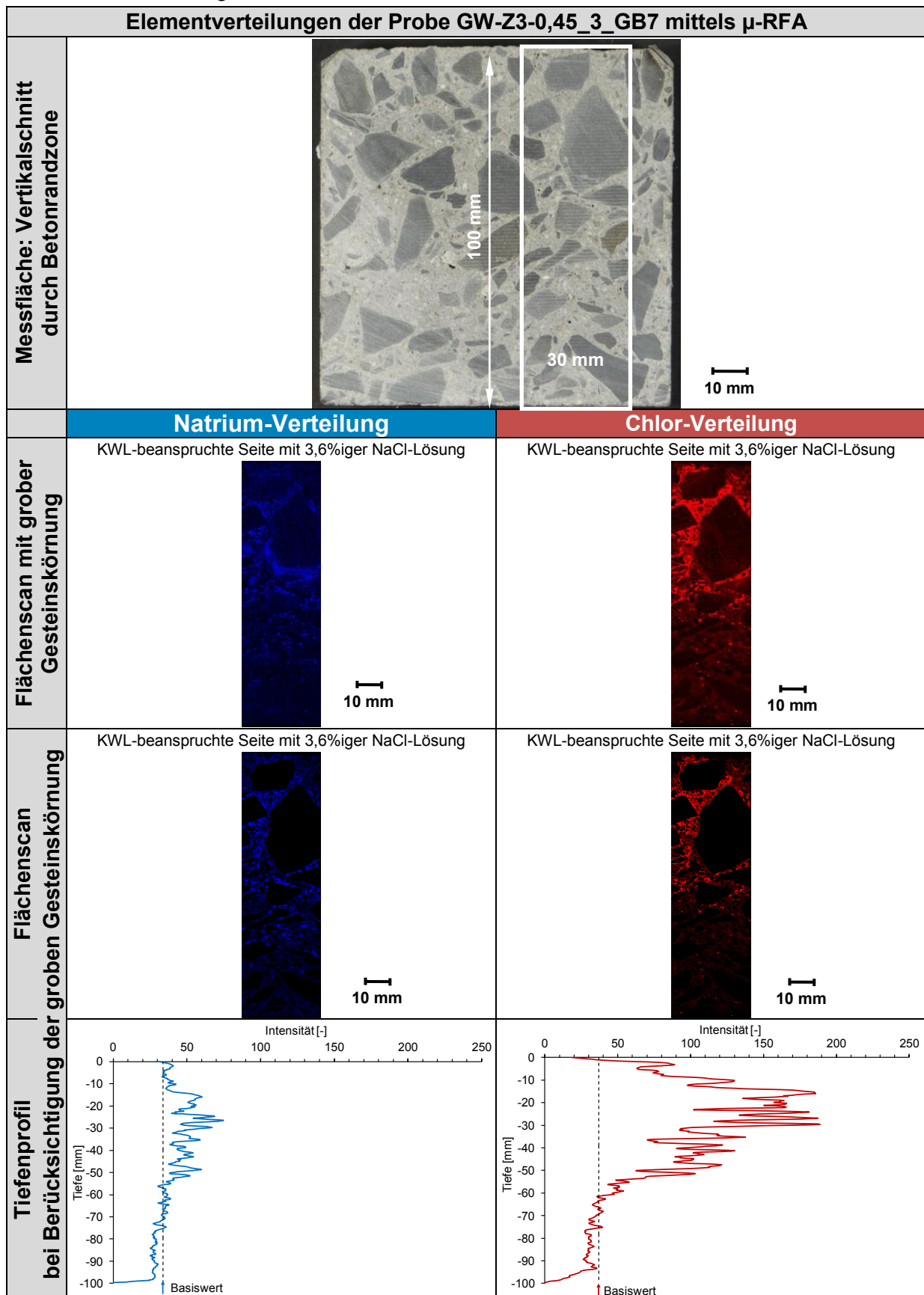


Abbildung A 194 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 ohne Zemdren® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

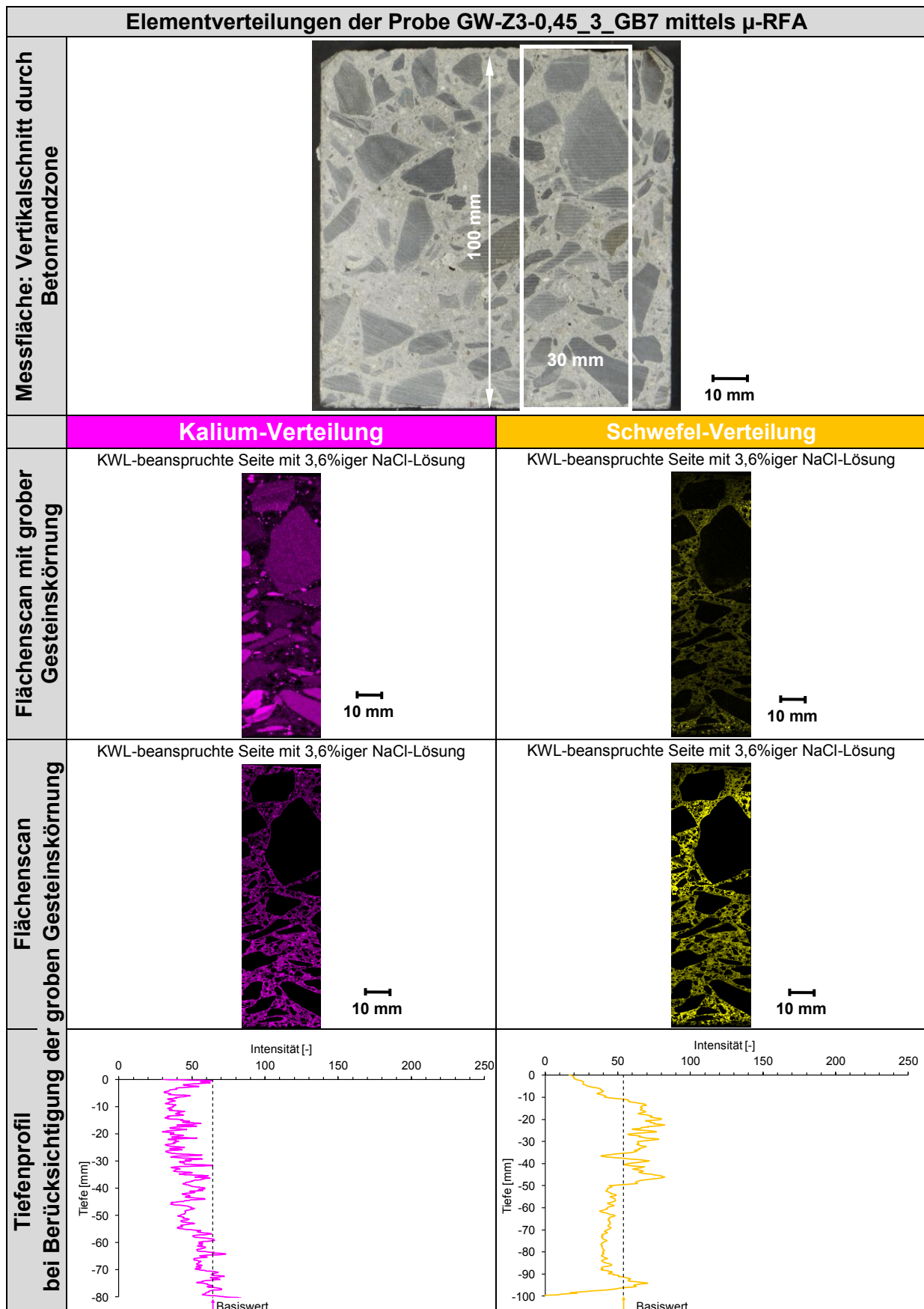


Abbildung A 195 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 ohne Zemdrain® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechsellagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mit μ -RFA

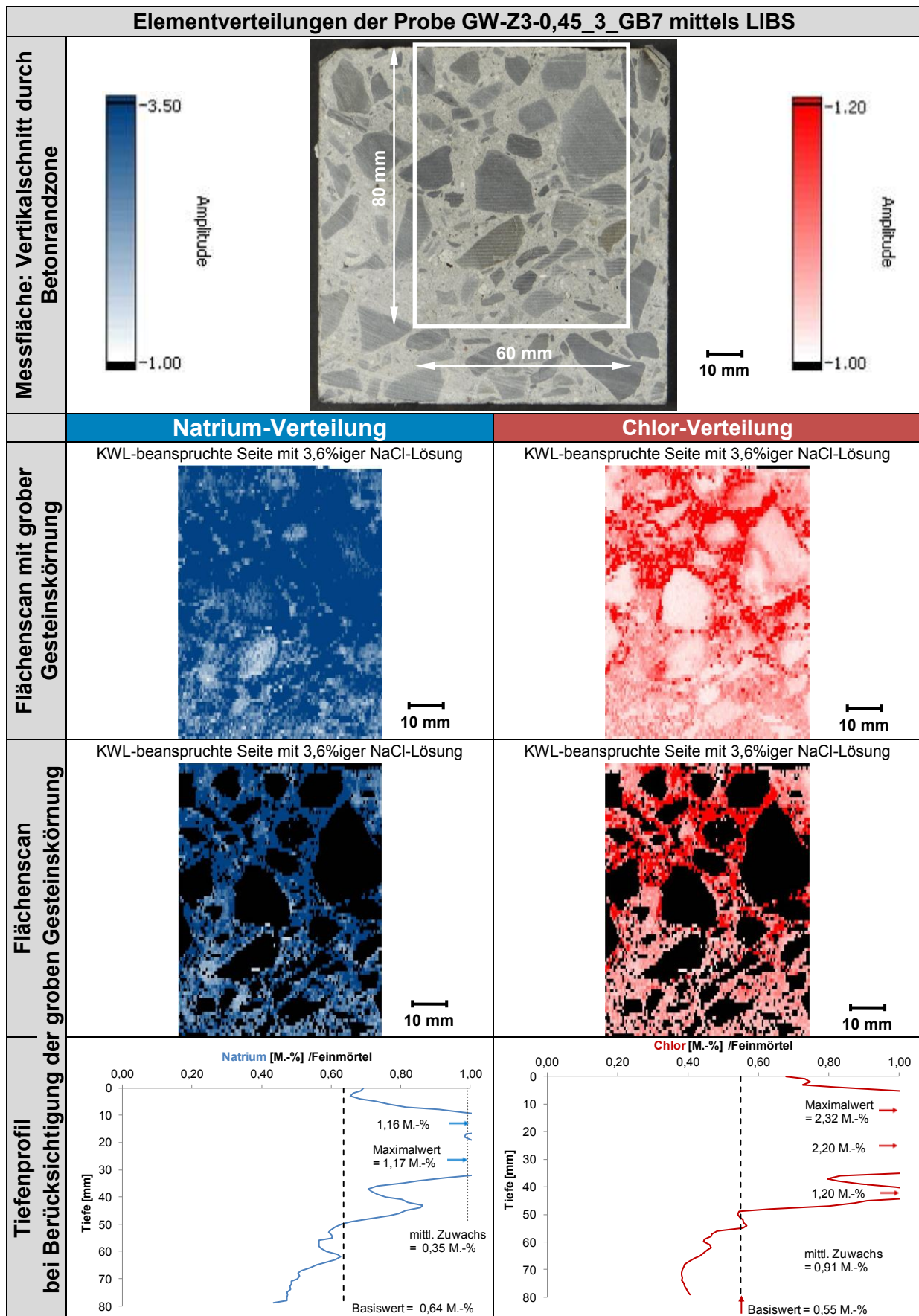


Abbildung A 196 Verteilung an Natrium und Chlor eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 ohne Zemdren® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechselagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

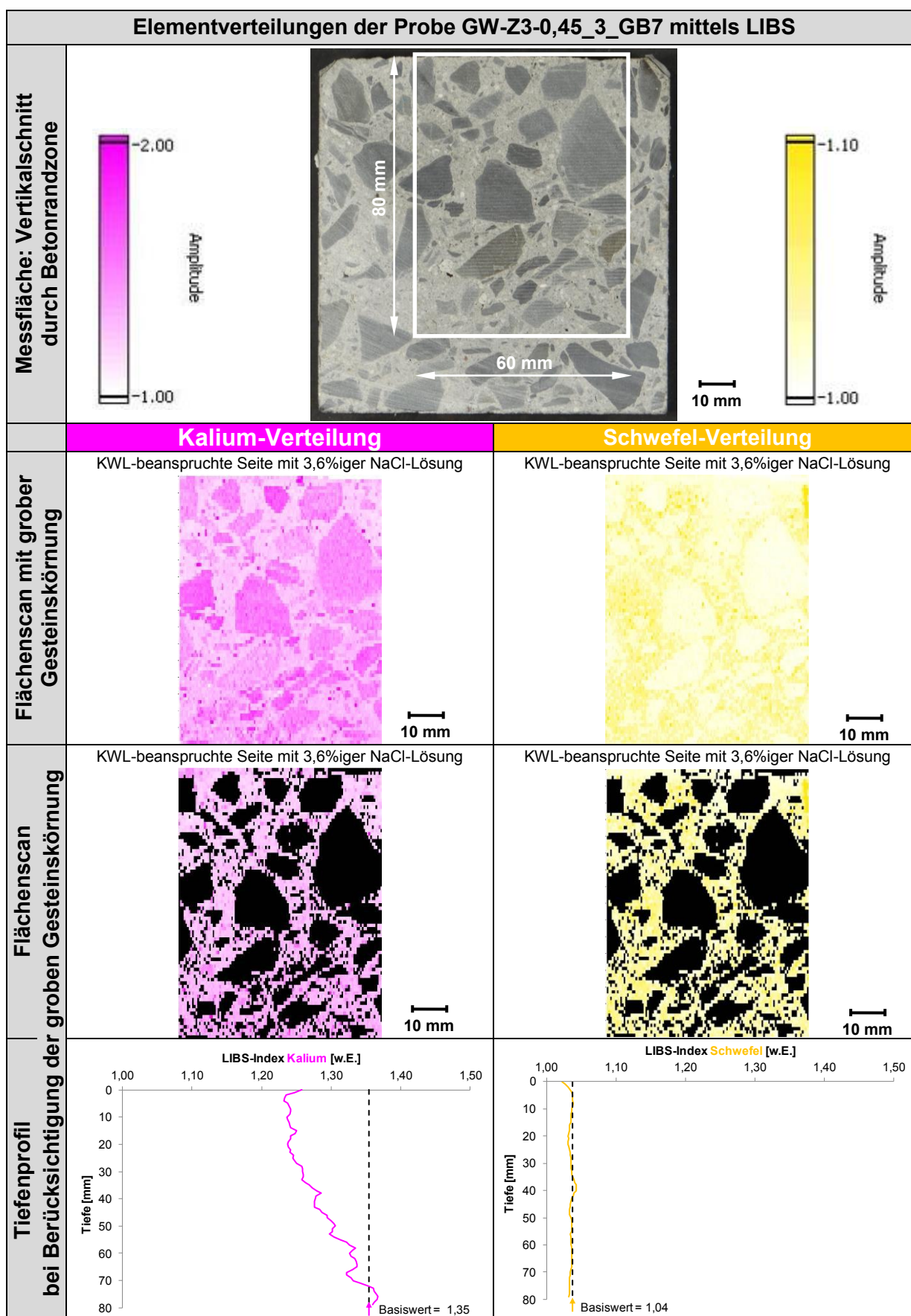


Abbildung A 197 Verteilung an Kalium und Schwefel eines Betonbalkens 100 x 100 x 400 [mm] mit Grauwacke-Splitt bei w/z-Wert von 0,45 ohne Zemdren® nach 12 Zyklen FIB-Klimawechsellaagerung mit 45 °C-Nebelphase bei Beaufschlagung mit 3,6%iger NaCl-Lösung mittels LIBS

➤ Mikroskopische Untersuchungen am Betonbalken

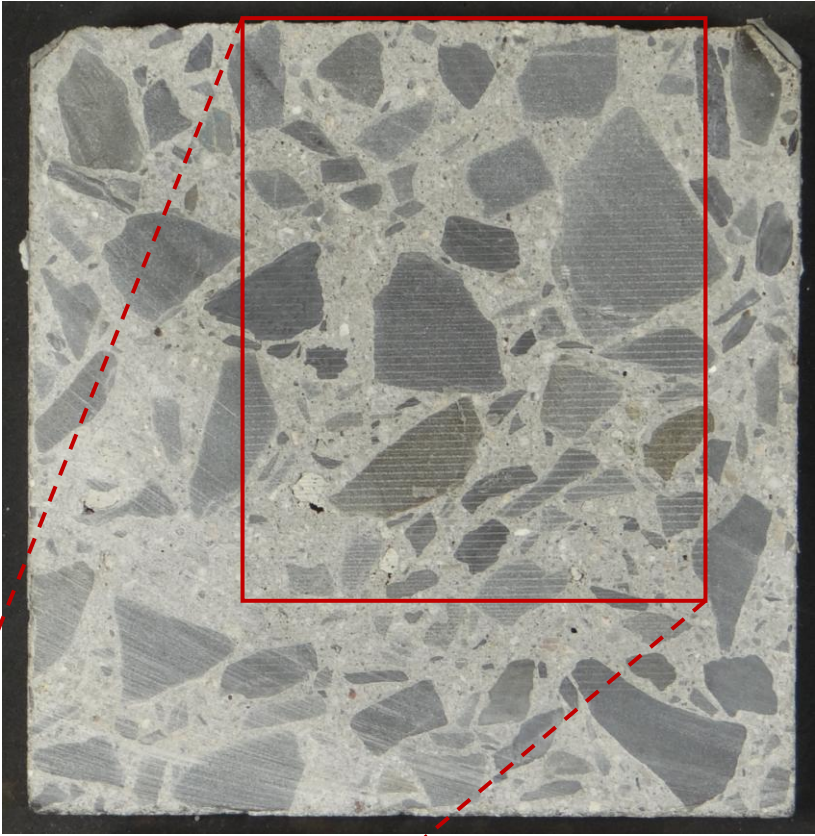
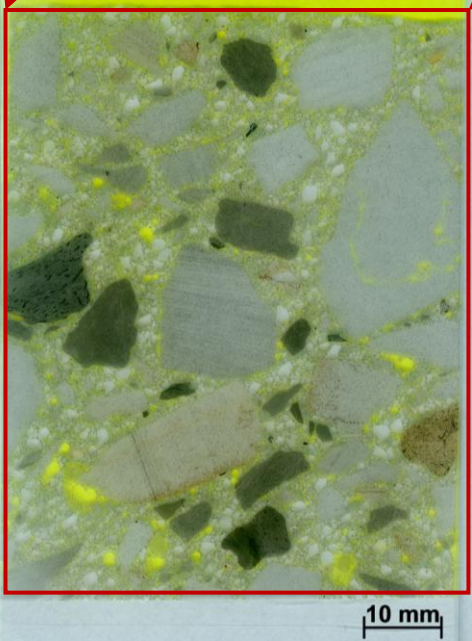
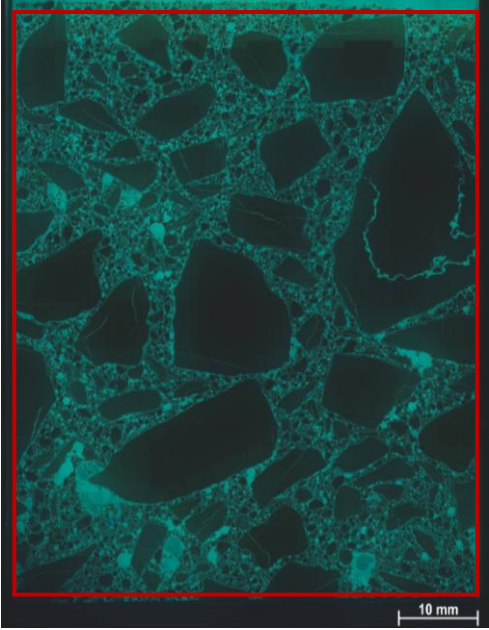
Probe: GW-Z3-0,45_3 GB7 nach Klimawechsellagerung mit 3,6%iger NaCl-Lösung bei 45°C-Nebelphase		
mittels LIBS analysierter Bereich		
mikroskopierter Bereich		
	Scan Dünnschliff	Dünnschliff im Stereomikroskop mit Auflicht unter UV-Licht als zusammengesetzte Bilder

Abbildung A 198 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt ohne Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klimawechsellagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung

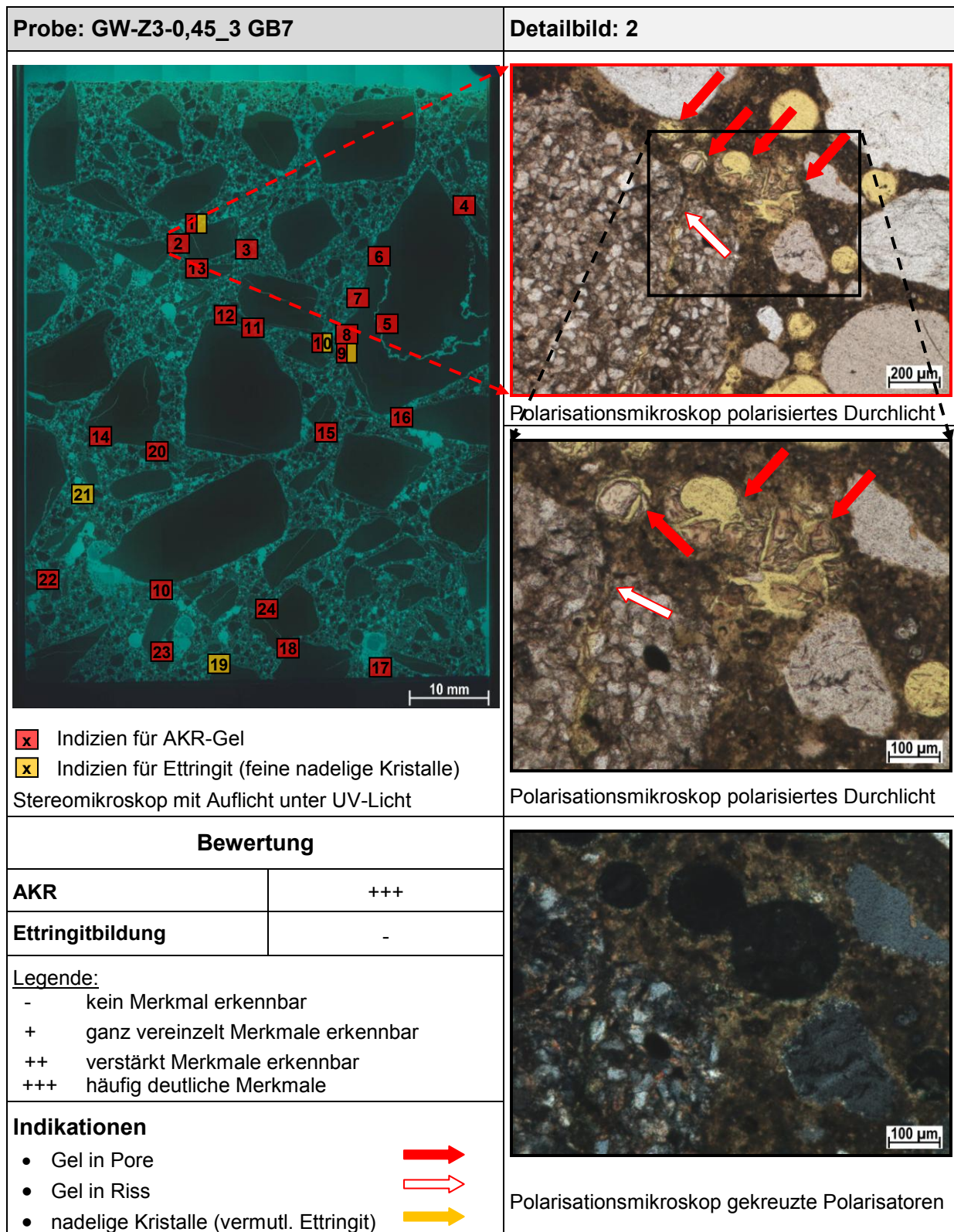


Abbildung A 199 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt ohne Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klima-wechsel Lagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 2: Riss und Poren mit AKR-Gel gefüllt

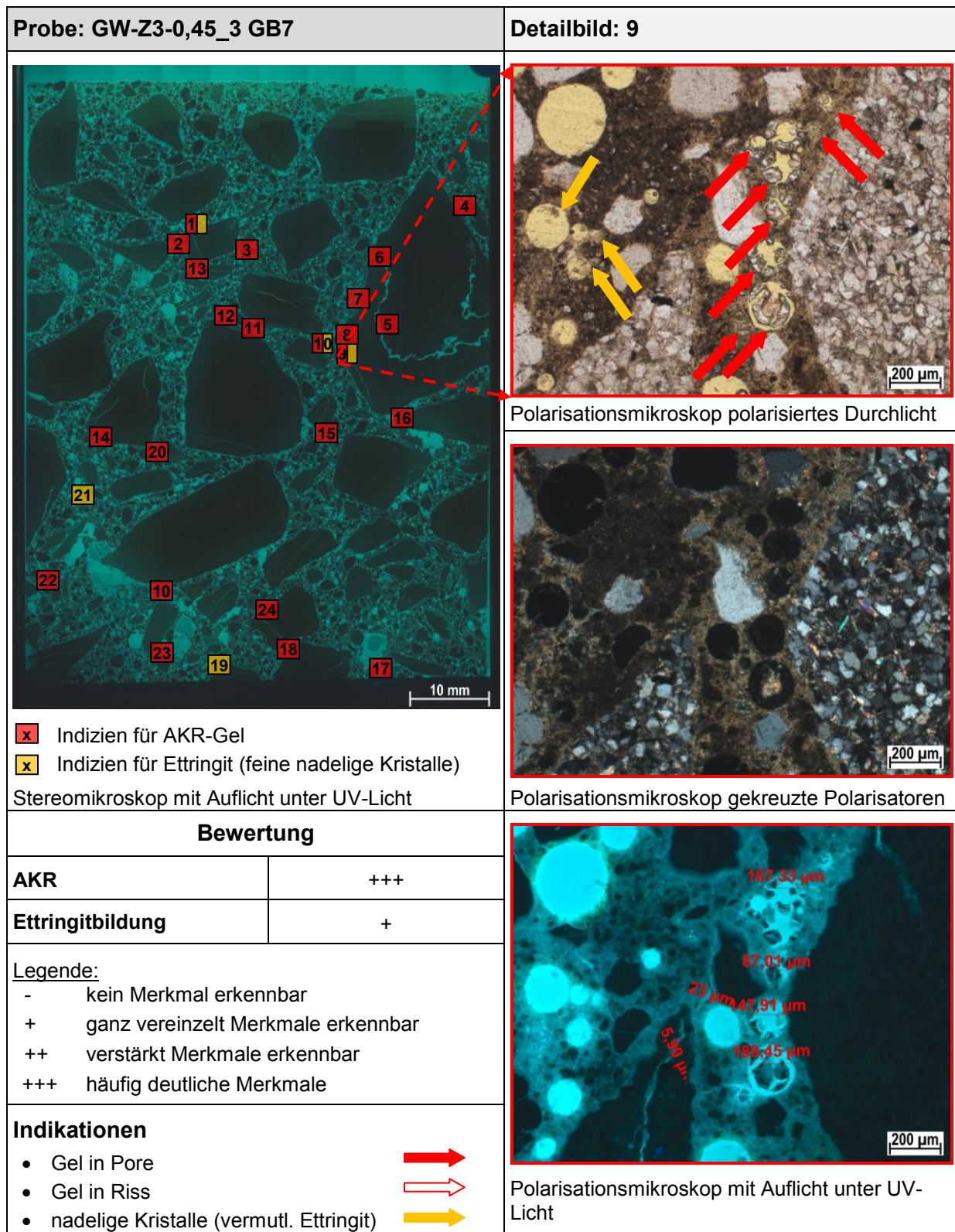


Abbildung A 200 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klima-wechselagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 9: viele AKR-gelgefüllte Poren und vereinzelt Ettringit

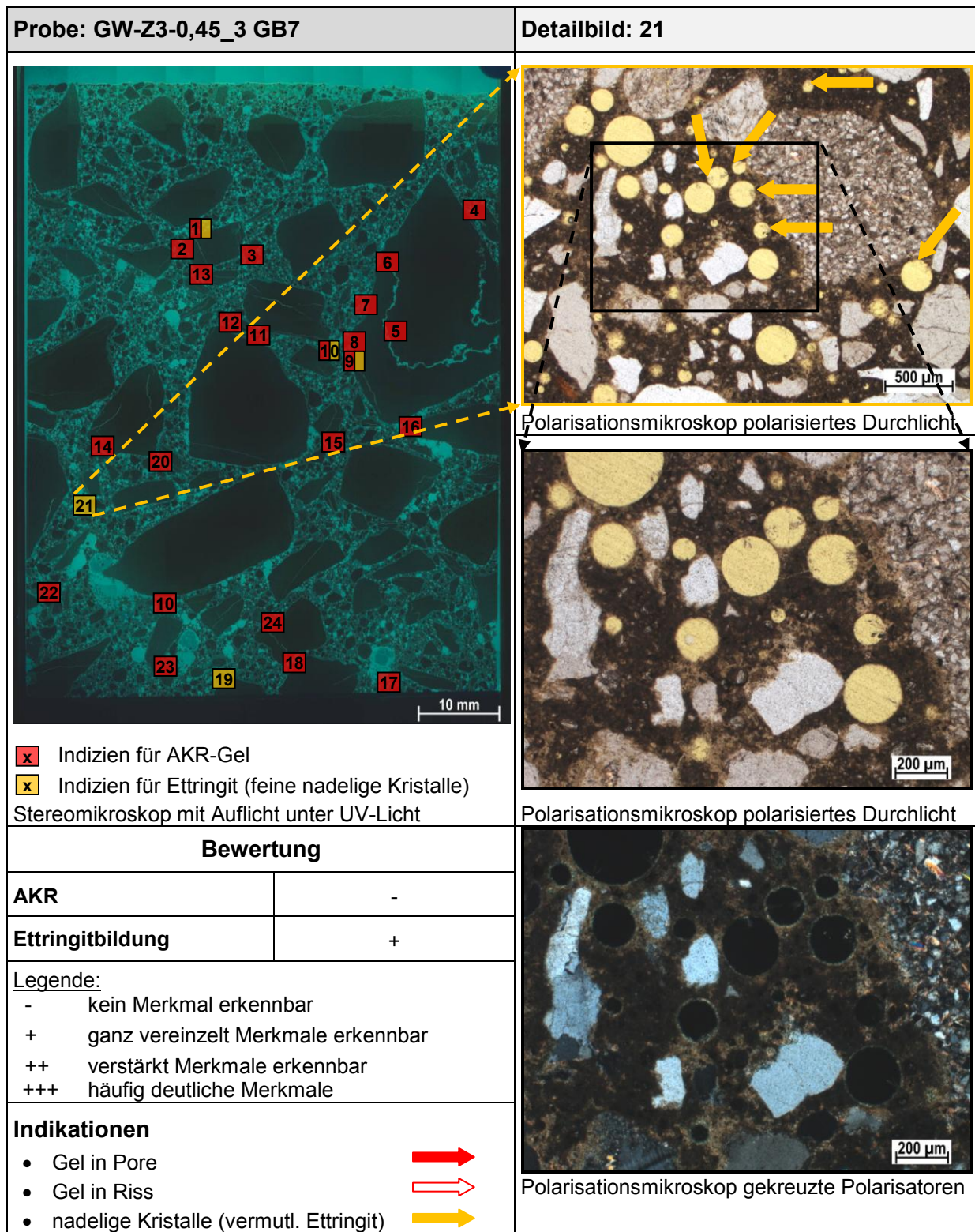


Abbildung A 201 Dünnschliffuntersuchung am Vertikalschnitt des Fahrbahndeckenbetons mit Grauwacke-Splitt und Zemdrain® bei einem w/z-Wert von 0,45 nach Klima-wechselagerung bei 45 °C-Nebelphase mit 3,6%iger NaCl-Lösung, Detail 21: vereinzelt nadelige Kristalle (vermutl. Ettringit)